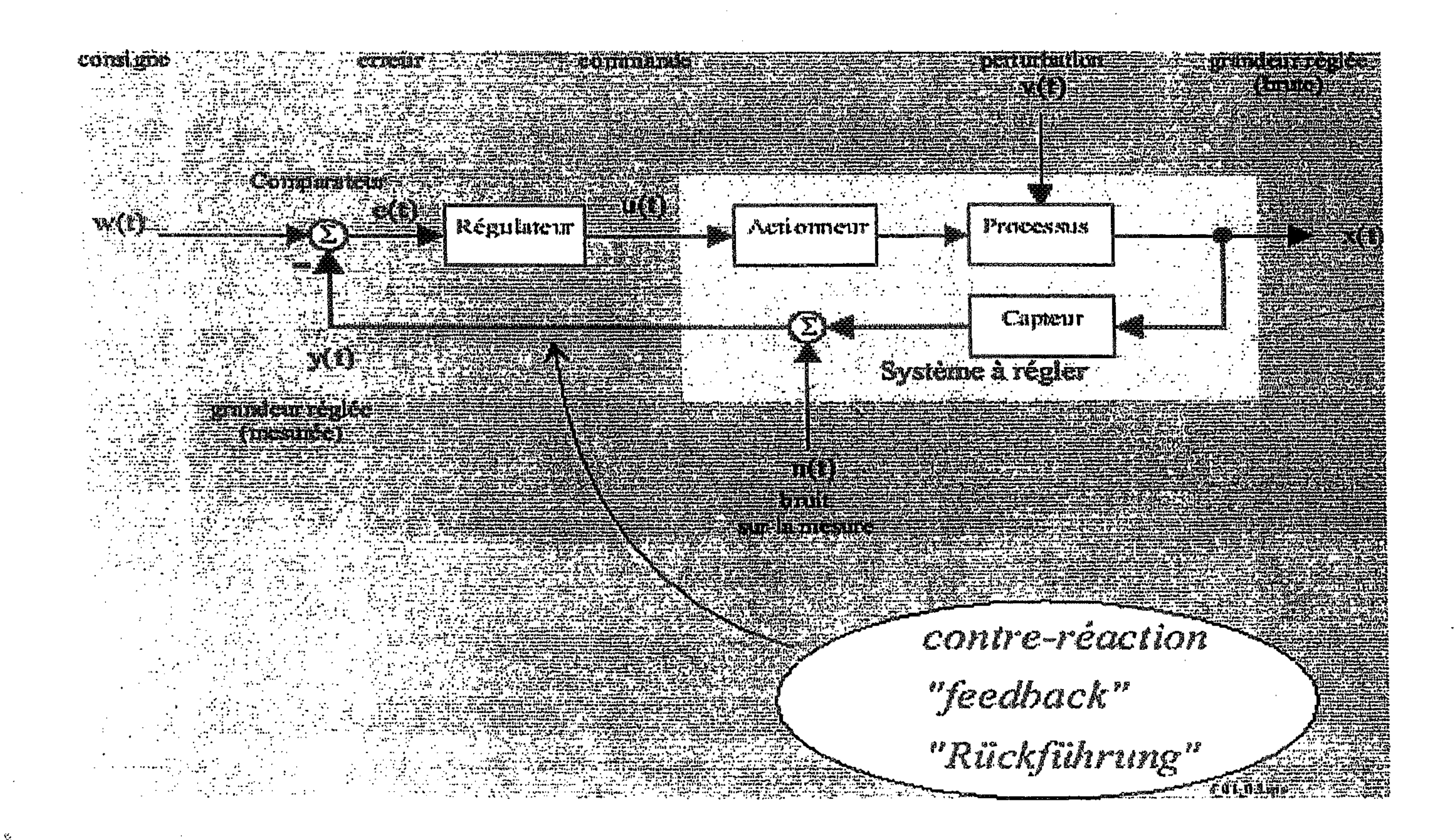
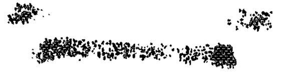
Université de Toulouse le Mirail
Institut Universitaire de technologie
Département Génie Industriel et maintenance

Travaux Pratiques : Automatique et Systèmes
2ème année



Sommaire



Université de Toulouse le Mirail

Institut Universitaire de technologie

Département Génie Industriel et maintenance

Travaux Pratiques : Automatique et Systèmes
2ème année

Introduction : ce manuel constitue le support principal des travaux pratiques à l'intention des étudiants de 2ème année de Génie industriel et maintenance. Les travaux ont pour objectif de comprendre les concepts, techniques et méthodes vues en cours et comment appréhender la notion de système à travers les différentes facettes des systèmes qu'ils soient en mode de simulation, systèmes mécaniques, électromécaniques, thermiques ou procédés. Tous les TP ont également pour objectifs d'étudier aussi la régulation industrielle de ces systèmes à travers une approche d'analyse du système et sa commande. Les séries de TP sont

1. Simulation numérique sur PC et analogique sur calculateur analogique : analyse et commande
2. Régulation de niveau : commande numérique et analogique
3. Régulation de température
4. Asservissement de position
5. Robotique :commande de robot par apprentissage et analyse de précision et répétabilité (ce TP sera partiellement programmé si les TP de régulation thermique sont à jour)

Notes :

1. Les compte rendus de TP ne doivent dépasser 4 pages (hors tracés de courbes). Les compte rendu doivent refléter les travaux éffectués ainsi les difficultés rencontrées et NON les corrigés d'exercices fait travaux dirigés.
2. Les compte rendus doivent être rendus à la fin de la séance.

3. Les TP sont basés essentiellement sur la notion d'observation et d'analyse des résultats

4. Le TP est une séance de formation, tout problème rencontré, difficulté constatée ou notion non comprise doit être reporté à l'enseignant durant la séance et également sur le compte rendu. Le plus important est de comprendre et NON de terminer le TP.

5. La note de TP est basée sur l' assuidité (et non l'efficacité) pendant les séances TP, le compte rendu et le contrôle TP fait à la dernière heure de la dernière séance.

La devise d'un travail pratique :

OBSERVATION → ANALYSE → VALIDATION

Rappel :

La régulation automatique est la technique de l'ingénieur offrant les méthodes/outils nécessaires à la prise de contrôle d'un système physique (installation de production, robot, alimentation électronique stabilisée, etc) en vue d'en imposer le comportement. Cette prise de contrôle s'effectue par l'intermédiaire de certains signaux (grandeurs physiques) qu'il est alors nécessaire de mesurer afin de déterminer l'action à entreprendre sur le système. Le contrôle est automatique, i.e. aucune intervention humaine n'est nécessaire.
Le comportement des grandeurs contrôlées peut/doit en général satisfaire plusieurs critères:

- on souhaite qu'une certaine grandeur physique (vitesse, courant, température) ait une valeur moyenne donnée en régime permanent
- cette même grandeur physique doit passer d'une valeur à une autre en un temps donné, voire avec un profil de variation imposé.

Les méthodes de l'automatique offrent donc la possibilité de modifier le comportement statique et dynamique d'une grandeur physique, afin qu'elle évolue conformément aux exigences de l'application.

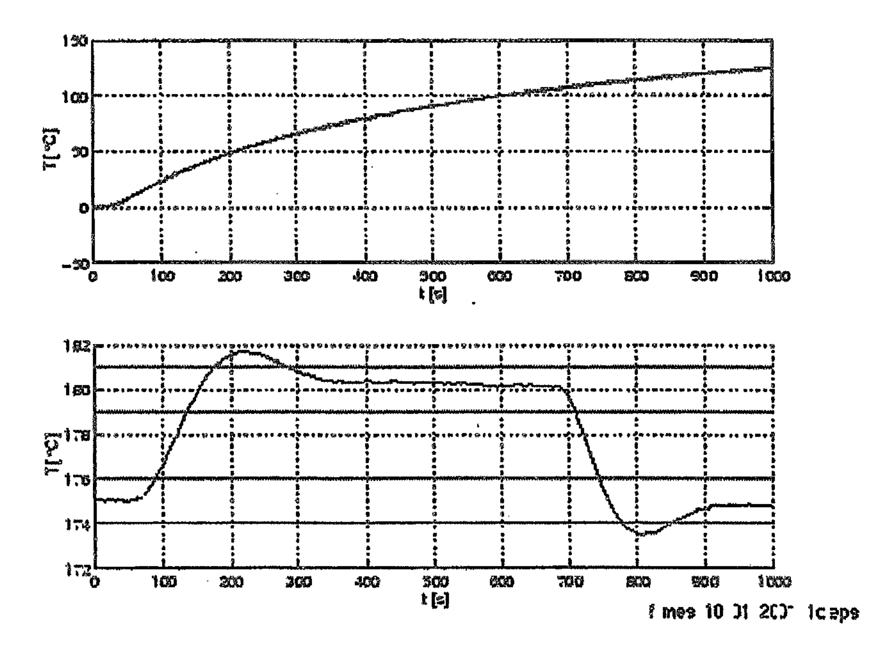


Figure: Régulation de la température d'un processus industriel: en haut, la réponse indicielle du système seul, en bas la réponse indicielle en régulation automatique. On voit que l'on arrive à rendre le système beaucoup plus rapide

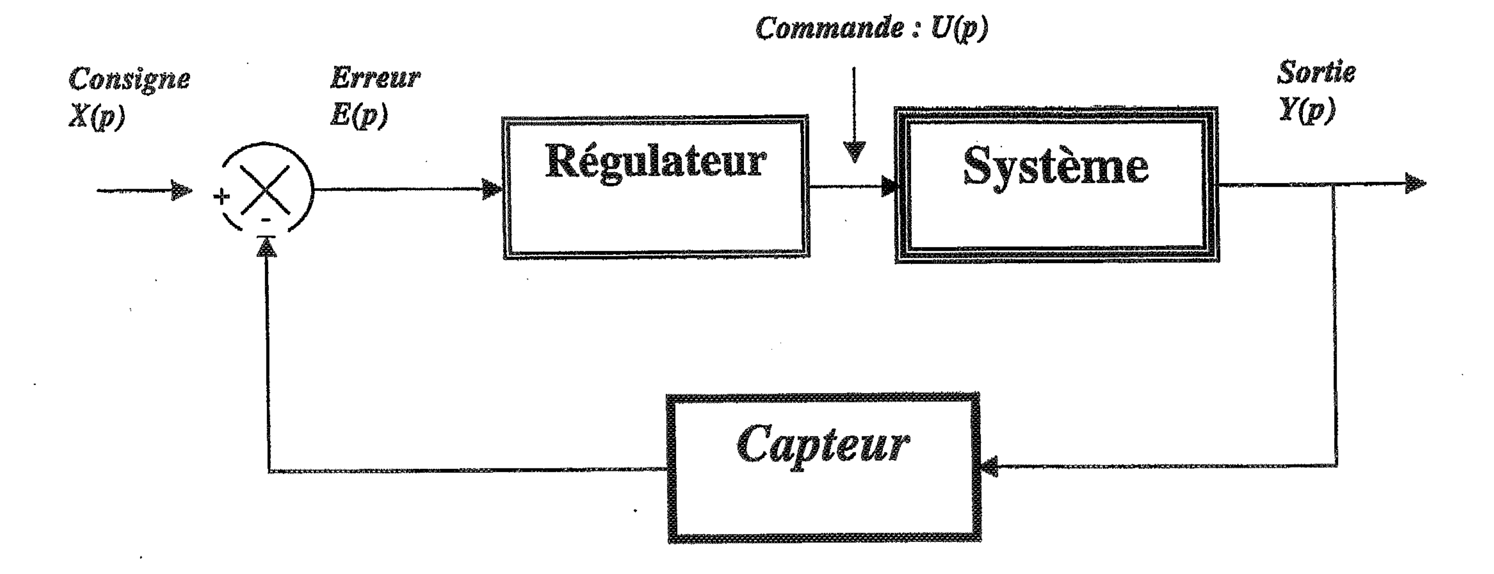
En s'appuyant notamment sur la technique de la contre-réaction, les méthodes de l'automatique permettent de traiter des situations où interviennent des systèmes

- intrinsèquement lents devant être rendus plus rapides (figure);

- difficilement contrôlables manuellement (sustentation et lévitation magnétique, avion de chasse à voilure inversée) devant être rendus stables afin d'être utilisables.

Les applications de la régulation automatique se trouveront donc dans tous les systèmes dont une (ou plusieurs) grandeur physique doit correspondre à une valeur prescrite (température, pH, débit, pression, courant, vitesse, force, altitude, profondeur, orientation, etc), laquelle pouvant être variable, et cela sans intervention humaine, i.e. de manière complètement automatique.

La figure classique schématisant une boucle est la suivante

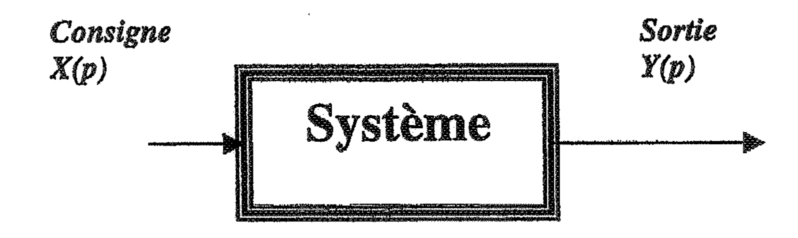


Les manipulations/expérientations

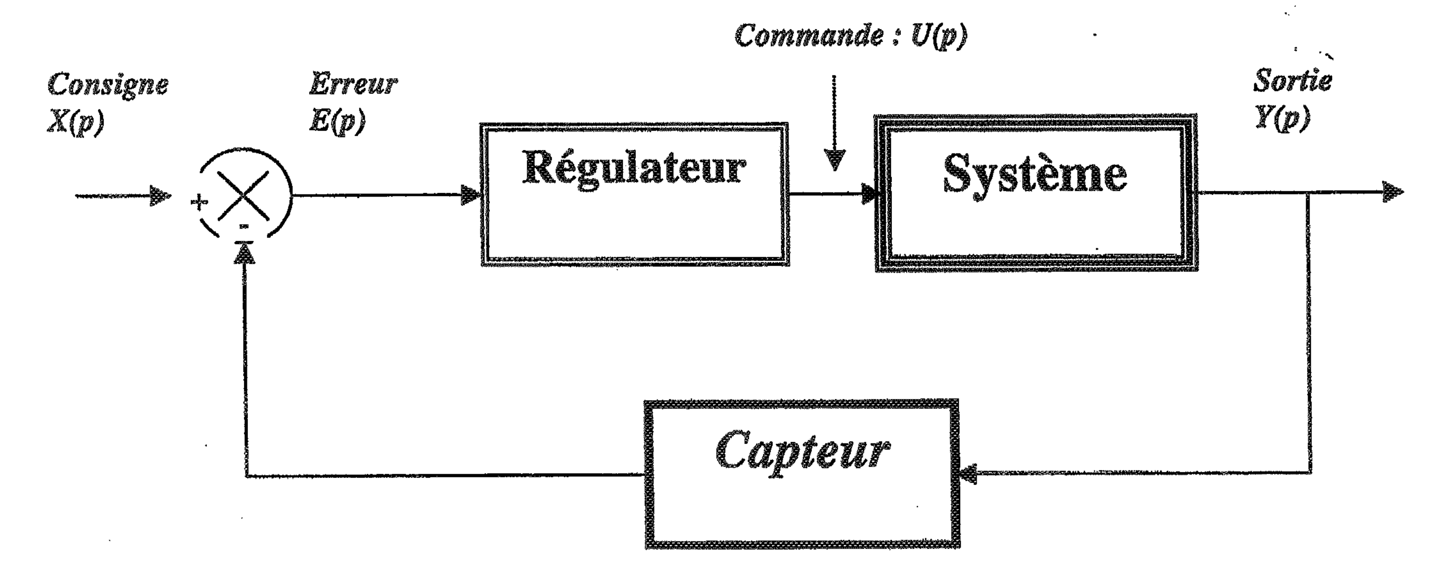
Comme c'était mentionné précedemment, vous avez à faire la même manipulation sur tous les types de systèmes. Ce qui difèrent , ce sont les caratéristiques des systèmes eux mêmes et en conséquence le type de régulateur. Nous aurons à travailler au niveau abstraction sur tous les systèmes en utilisant la simulation : les systèmes seront représentés par des modèles mathématiques exprimés sous forme d'équations différentielles ou de fonctions de transfert.

Toutes les manipulations se basent sur deux expériences majeures

- l'étude et l'analyse du systèmes en boucle ouverte schématisé par la figure suivante



- L'étude et l'analyse du système en boucle fermée ; le régulateur peut être analogique ou numérique dépendant de la manipulation.



II. Résumé sur les manipulations à faire (Celles ci seront détaillées pour chacune d'elle).

1. Se familiariser avec le système : il s'agit de connaître le fonctionnement du système
2. Identifier les variables les plus importantes correspondantes aux entrées sorties du systèmes : niveau de bac, température, vitesse, position et également les mesures correspondantes (sorties capteurs)
3. Expérimentation en boucle ouverte : il sera demandé d'exciter le système en mode échelon et obsever la sortie. Tracer la réponse temporelle (l'évolution de la sortie) sur table traçante ou imprimante selon la manipulation à faire
4. Identification : Identifier le modèle du système c-àd-d trouver la fonction de tranfert du système à partir du tracé.
5. validation du modèle : Pour cela, simuler le système et comparer la réponse réelle et la réponse simuler ; corriger le modèle jusqu'à obtention de réponse quasi similaire
6. Commande en boucle fermée : Aborder la commande en boucle fermée en utilisant un régulateur PID (commandes Proportionnelle, Intégrale, Dérivée) . Commencer progressivement par une commande P, puis PI puis PID
7. Réponse fréquentielle : cette partie peut se faire dans certains manipulations dans la partie (3). Observer la réponse du système en faisant varirer la fréquence, trouver la bande passante et la fréquence de résonnance.

Toutes les conclusions doivent être validées par les tracés et éventuellement prouvées si nécessaire. Tous les tracés obtenus feront partie du compte rendus et numérotés pour être référencés dans le texte du compte rendu

CAO AUTOMATIQUE et SYSTEMES

Université Toulouse II
IUT-B/Dept MI

Travaux pratiques-Automatique

TP No. 1

TOUT CE QUE VOUS VOULEZ SAVOIR SUR

L'AUTOMATIQUE SANS ....

PAR LA PRATIQUE

Objectif : Maîtriser le cycle de vie de développement d'un système automatisé continu :

* Techniques et concepts de base
* Techniques avancées
* Maîtrise d'un outil CAO

Ce TP est le travail de base et servira pour le reste des autres TP. l'outil CAO sera utilisé à chaque séance des autres TP en cas de nécessité (simulation, synthèse de commande, tracé de Bode etc ...)

Le cycle de vie étant :

ANALYSE DES BESOINS
--> MODELISATION
--> ANALYSE DU SYSTEME
--> SYNTHESE DE LA COMMANDE
--> ANALYSE CONJOINTE COM./SYS

L'étude concernera principalement les systèmes linéaires d'ordre n (n=1,2,..,4)

Les outils CAO serviront aux autres TP (régulation de niveau, aservissement, simulation analogique, robotique)

Rappel : dans ce TP on fera abstraction du type de technologie associée au système et à la commande; cependant, on étudiera plusieurs types de systèmes à partir de l'obtention de leurs

9

modèles (Thermique, Mécanique, Hydraulique, Electrique, informatique et systèmes discrets annexes).

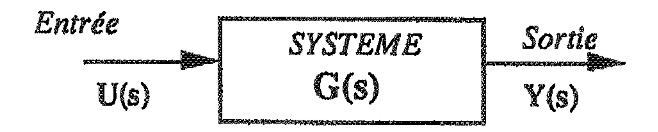
L'analyse du système suppose de déterminer expérimentalement (voire théoriquement si demandé) les propriétés du pont due vue temporelle (temps de réponse, stabilité, temps de réponse, amorttissement, ..) et fréquentielle (fréquence d'oscillation, bande passante, fréquence de résonnance, marge de gain et de phase)

N.B : Le TP est constitué de plusieurs parties : A l'issue de chaque partie, des questions seront posées sur le travail effectué.

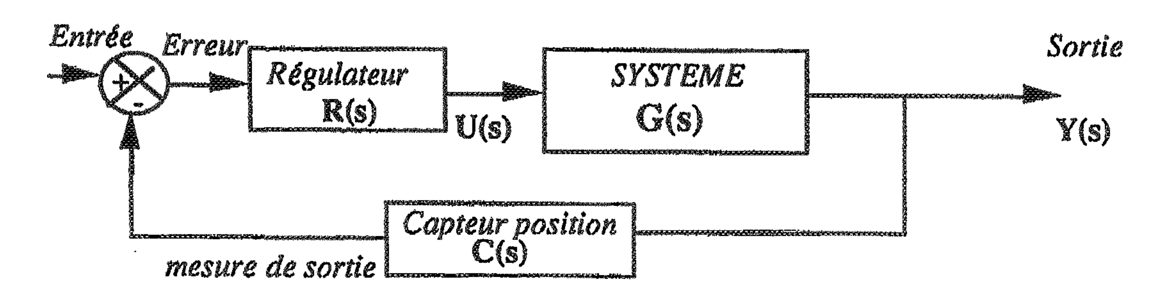
Vu les objectifs assignés, il est impératif que le cours associé soit connu et que les supports de cours soient disponibles pendant la séance.

I. Présentation du TP :

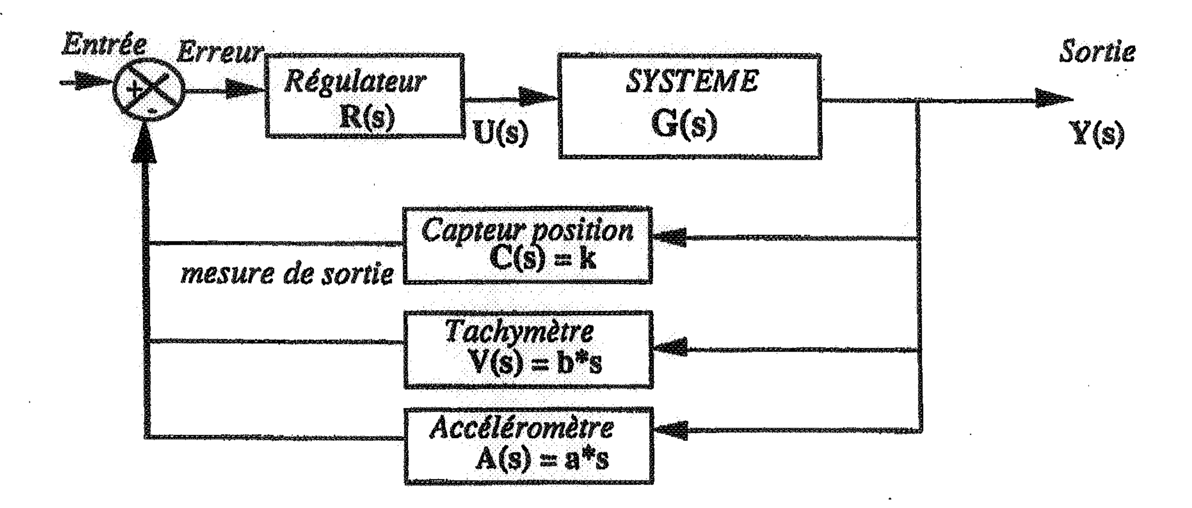
Ce travail reflète la partie fondamentale dans la commande des systèmes : Analyse et synthèse de commande. On considère chaque type de procédé, on modélise ou bien on identifie le système afin d'obtenir son modèle. A patir de ce modèle, on fera l'analyse en boucle ouverte et fermée avec un correcteur correspondant. Le schéma bloc en boucle ouverte est sous la forme



Le système en boucle fermée est sous la forme



quelquefois on fait plusieurs retours en plus du retour de position (retour de vitesse voire d'accélération), ainsi on est amené à ajouter deux autres capteurs (tachymètre pour la vitesse et accéléromètre pour l'accélération).



II. Etude des systèmes (1er, 2ème ordre) à laide de l'outil CAO :

(On dispose de trois outils CAO : CC, TUTSIM, MATRIX)
Voir en annexe, le manuel d'utilisation

2.1 Analyse temporelle et fréquentielle

Obtenir le diagramme de Bode d'un système du 1er ordre

$$G(s) = K/(T*p + 1)$$

et la réponse temporelle en boucle ouverte et en boucle fermée

2.1.1 Considérer T constant et faire varier K (3 à 4 valeurs suffisent)

2.1.2 Considérer K constant et faire varier T

2.1.3 Conclure sur les effets du gain K et de la constant de temps T

2.2 Analyse de la stabilité

2.2.1 Considérer le système $G(s) = 1/s$

obtenir la réponse temporelle

2.2.2 Conclure (justifier théoriquement) et proposer une solution

2.2.3 Idem pour le système $G(s) = 1/(s-3)$

2.3 Analyse d'un système du 2ème ordre

Un système du 2ème ordre est régi par une équation différentielle ordinaire d'ordre 2. Trois paramètres caractérisent ce type de système (voir cours) : **K, ζ,ω** (Gain, taux d'amortissement, fréquence naturelle d'oscillation)

$$G(s) = K/(s\verb|^|2 + 2*\zeta*\omega*s + \omega\verb|^|2)$$

2.3.1 K,ζ constants quelle est l'influence de ω sur les réponses temsporelle et fréquentielle

2.3.2 K,ω constant quelle est l'influence de ζ (0.2,1,5)

III. Etude du régulateur PID (Proportionnelle Intégrale Dérivée)

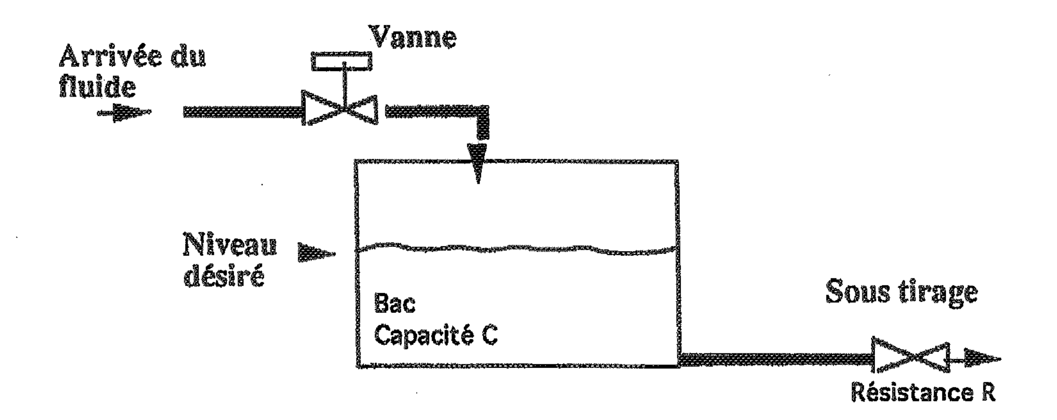
3.1 On considère un système du 2ème ordre (paramètres à 1) et on souhaite voir les effets des actions du regulateur sur la réponse temporelle. Faites le calcul de la transmittance à l'aide de l'outil (fonction BUILD) pour chacune des actions P, PI, PID

3.2 Etudier ce système en boucle fermée avec une action Proportionnelle.
3.3 Idem avec une action Proprtionnelle Intégrale : PI
3.4 Idem avec une action PID
3.5 Conclure

IV. Etude d'un système hydraulique

(cet exemple fera l'objet d'un TP spécifique sur des maquettes)

4.1 Présentation du système et modèle associé; on considère le remplissage d'un bac. Ce procédé est largement utilisé dans l'industrie chimique et pétrochimique et est schematisé par la figure suivante



Le modèle $G(s) = N(s)/Q(s) = R/(R*C*s +1)$ (R: résistance de la vanne de sortie, C: capacité du bac). Pour les objectifs du TP, fixer une valeur au produit RC.

N(s) : Niveau du bac (variation autour du point de fonctionnement)

Q(s) débit d'entrée (variation)

4.2 Etude du système en boucle ouverte. Analyser la réponse temporelle du système

4.3 On considère une commande en boucle fermée (capteur de niveau : transmittance C(s) = 2 (volts/m), l'actionneur (vanne) est un système du second ordre (fixer les valeurs à 1)

Quelle est la réponse du système

4.4 On compte ajouter un régulateur dont la fonction de transfer (transmittance) est à déterminer. Justifier expérimentalement le choix du régulateur.

V. Asservissement d'un moteur électrique en vitesse et position

(*cet exemple fera l'objet d'un TP spécifique sur des maquettes*)

La fonction de transfert d'un moteur (entrée : tension, sortie : vitesse) est

$$G(s) = K/(T*s+1)$$

5.1. Quelle est la fonction de transfer du système si on veut avoir la position en sortie

5.2 Etudier la stabilité du système

5.3 proposer une solution et l'expérimenter

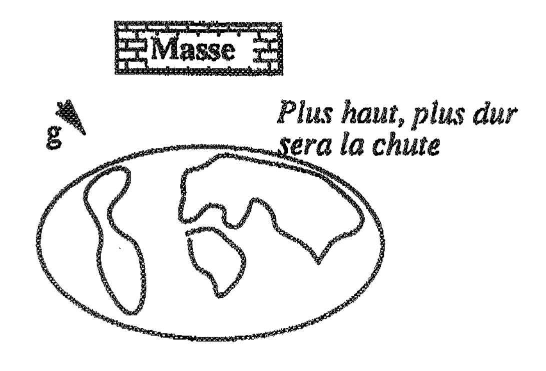
5.4 Faire un retour tachymétrique et observer le comportement du système

5.5 Conclure

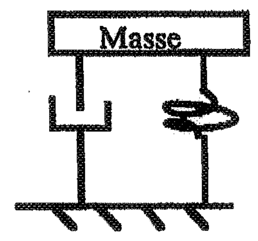
VI. Synthèse de commande d'amortissement (exercice amusant)

On considère le cas le plus connu : stabiliser une masse à une position donnée. On prend un objet de masse M,

si on le lâche il tombera : ***évident !!***



Pour le stabiliser il faut et il suffit de mettre un amortisseur et un ressort : ***évident !!***



Le prouver : ***est ce évident ?***

La réponse est OUI avec une approche automatique

6.1. Obtenir la relation entre le déplacement d'une masse et la force de gravitation (loi de Newton (F=M*γ) sous fome d'équation différentielle.

6.2. Obtenir la fonction de tranfer G(s) = X(s)/F(s) (X : déplacement , F : force)

6.3 Faire un retour de position et de vitesse

6.4 Obtenir la fonction de transfer en boucle fermée

6.5 Conclure en faisant la correspondance entre retour de position <--> Ressort et le retour tachymétrique <--> amortisseur (frottement sec).

La plupart des systèmes (cas de stabilisation de satellites sont asservis avec retour de position et vitesse; le retour de position ne suffit pas dans beaucoup de cas)

VII. Commande d'un système thermique

On considère un système de chauffage (entrée : débit gaz et sortie température du produit) avec régulation (retour de température et du gradient de celle ci.

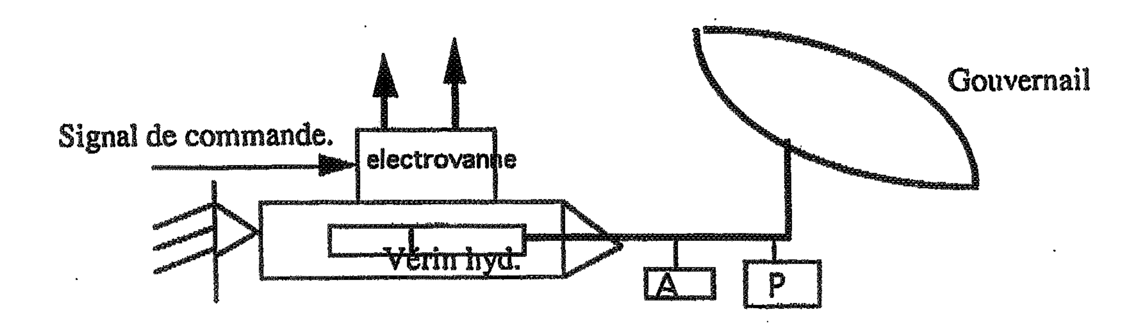
7.1 La fonction de tranfert simplifiée G(s) = 10/[s*(s+1)].

en boucle fermée avec retour de température uniquement, le coefficient d'amortissement est de **0.137** et la fréquence naturelle **3.16 rad/s** Quelle doit être le coefficient du gradient pour que le coefficient d'amortissement soit ramené à la valeur **0.5**

7.2 Vérifier votre résultat expérimentalement

VIII. Commande avionique

On considère la commande de gouvernail asservi par l'intermédiaire d'une electrovanne shématisé comme suit



La fonction de transfer du système est

$$G(s) = K/[s*(s\wedge 2 + 2*\zeta*\omega*s+ \omega\wedge 2)]$$

$\omega = 100$, $\zeta = 0.02$ qui est un système trop sous-amorti, pour celà en plus de retour de sortie (capteur P), on fait egalement un retour d'accélération (capteur d'accélération : A)

8.1. Trouver le schéma bloc correspondant

8.2. Etudier le comportement temporel sans le retour d'accélération

8.3. Etudier le système en lui ajoutant un accéléromètre

8.4. Comparer les deux résultats et conclure.

9. Autres techniques (dépend de l'avancement du cours ATS)

9.1 Utiliser la technique du lieu d'Evans (lieu des racines sur un système de 2ème ordre)

9.2 Utiliser le diagramme de Nyquist pour l'étude la stabilité d'un système avec deux zéros positifs (système du 3ème ordre)

15

ANNEXE

COMMANDES COURANTES

(UTILISATION DE L'OUTIL CAO CC)

L'utilitaire HELP est en ligne pour les autres commandes (également disponibles pendant la séance)

Présentation de CC :

CC est un logiciel développé pour l'étude et la simulation des systèmes continus et discrets.

Il comporte deux niveaux de commandes, le niveau supérieur contenant les logiciels CC pour l'étude des systèmes continus et DIG pour les systèmes discrets. Le niveau inférieur contient les logiciels BUILD, pour la saisie des fonctions de transferts, MR, pour la discrétisation avec plusieurs vitesses d'échantillonnage, pour ne citer que ceux que nous sommes susceptibles d'utiliser. La figure 1 donne une vue d'ensemble de la hiérarchie de commande de CC.

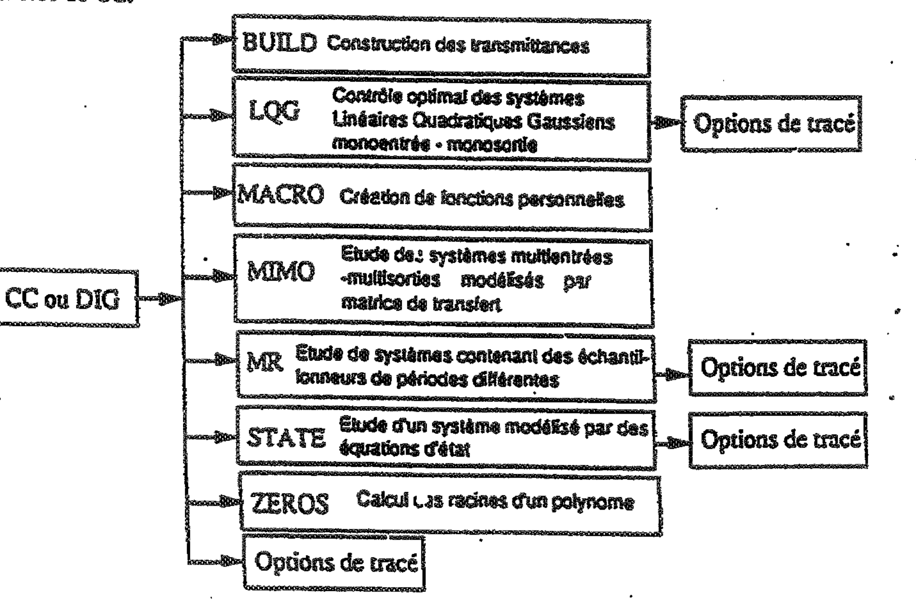


Figure 1

Description du logiciel BUILD :

Ce logiciel permet la spécification ou le calcul des fonctions de transfert (continues si on travaille avec CC, discrètes si on travaille avec DIG) par son expression.

Exemple :

CC > Build

Build > G=1/(1+2*s+0.5s^2) pour décrire $F(p) = \frac{1}{1+2p+0.5p^2}$

Build > G1=G/(1+G) pour calculer la transmittance en boucle fermée

Build > Quit

CC >

Le nom d'une fonction de transfert sera toujours G ou G_i $i \in N^*$.

De la même façon, à partir de DIG, on construira une fonction de transfert discrète.

Attention *lors de passage de CC à DIG la variable s devient z c'est à dire qu'une fonction de transfert* $F(p) = \frac{K}{1+p}$ *devient* $F(z) = \frac{K}{1+z}$. *On verra par la suite qu'il existe une fonction de CC qui calcule la transformée en z d'une fonction de tranfert (la commande inverse existe sous DIG).*

Principales commandes de BUILD :

QUIT Pour revenir au niveau supérieur de commande (DIG ou CC).

HELP Affiche toutes les commandes de BUILD.

DISPLAY,Gi Affiche la fonction de transfert Gi.

INTEGRATOR,Gi $Gi(s) = \frac{1}{s}$ en continu et $Gi(z) = \frac{T(z+1)}{2(z-1)}$ en discret.

2POLES,Gi,ω, ζ $Gi(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$, idem en discret.

2ZEROS, Gi,ω, ζ $Gi(s) = \frac{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{\omega_n^2}$, idem en discret.

Remarque : Toutes les commandes que nous venons de décrire, ainsi que celles que nous

verrons par la suite, peuvent être utilisées de 2 façons:

- soit en passant les paramètres lors de l'appel de la fonction,
- soit en tapant uniquement le nom de la commande (caractères gras), dans ce cas un menu déroulant guidera l'utilisateur pour saisir les paramètres.

<u>Principales commandes de CC et DIG :</u>

DIGITAL,T Passage du mode continu au mode discret avec une période d'échantillonnage égale à T.

ANALOG Passage du mode échantillonné au mode continu.

HELP Affichage de toutes les commandes.

FREQUENCY,Gi,valeur inf. de la fréquence,valeur sup.,nombre de points,option.
Crée un fichier ($$FREQ) contenant les informations fréquentielles de la fonction de transfert continue Gi. Cette commande doit être utilisée avant tout appel d'une procédure d'analyse fréquentielle (Bode, Nyquist,...). L'option conduit à un tracé logarithmique lorsqu'elle vaut 0, linéaire lorsqu'elle vaut 1.

FREQUENCY,SPECIAL,Gi,valeur inf. de la fréquence, # points, # répétition,option.
Crée un fichier ($$FREQ) contenant les informations fréquentielles de la fonction de transfert discrète Gi.
Les paramètres diffèrent sensiblement par rapport au cas continu :
points = nombre de points compris entre la valeur inférieure de la fréquence et π/T.
répétition = la fréquence maximale sera égale à #répétition $* \pi/T$.
Le reste est inchangé.

BODE Etude d'un système dans le plan de Bode.

NYQUIST

NYQUIST INVERSE Etude d'un système dans le plan de Nyquist.

TIME,Gi,Type,AUTO Simule le système décrit par la fonction de transfert Gi.
Type = 1=> Réponse en boucle fermée à un échelon de commande.
Type = 2 => Réponse impulsionnelle en boucle fermée.
Type = 3 => Réponse en boucle ouverte à un échelon de commande.
Type = 4 => Réponse impulsionnelle en boucle ouverte.

DTIME,Gi,type,AUTO Commande équivalente pour les systèmes discrets.

ROOTLOCUS,Gi, AUTO,"Titre du graphique" Tace le lieu de racine de la fonction de transfert Gi.

CONVERT,Gi,Gj,Option,T Discrétise Gi(p) par une des 10 techniques proposées, passe au mode Digital et retourne le résultat dans Gj(z).

Parmi les 10 techniques de discrétisation proposées, nous ne présenterons que celles qui nous intéresseront :

Option = 7 Transformée en z classique ($z=e^{-Tp}$).
Option = 8 Recherche de la fonction de transfert discrète de (système + bloqueur d'odre zéro).
Option = 9 Recherche de la fonction de transfert discrète de (système + bloqueur d'odre un).

DISPLAY,Gi Visualise l'expression de la fonction de transfert Gi.

CLS Efface l'écran.

KILL,$$Gi Efface la fonction ...

KILL,$$*   Efface toutes les fonctions de transfert

STORE,Gi,Nonfich   Sauvegarde les caractéristiques de la fonction de transfert Gi dans le fichier Nonfich. Cette commande est utilisée pour représenter sur un même graphe la réponse de systèmes travaillant avec des périodes d'échantillonnage différentes.

Les commandes Time, Dtime, Rootlocus, Bode, Nyquist et Inverse Nyquist conduisent à des représentations graphiques. Un menu affiché au bas de l'écran permet alors de modifier certaines données du tracé:

OPTION>

A= Add line, C=Cursor, D=Change options, E=Change limits, H=Hardcopy
L=Label, M=50% more time, P=Plot again, Q=Quit, T=Thick lines, Z=Center

Description des commandes :

OPTION>a

Ajoute sur le même graphique l'évolution d'une autre fonction de transfert. Le choix de cette option conduit au questionnaire suivant :

Enter your choice >

1 = la nouvelle transmittance a été calculée à partir de la même période d'échantillonnage.
2 = les caractéristiques de la nouvelle transmittance sont sauvegardées sur un fichier (cette option permet de comparer les évolutions de fonctions de transfert discrètes et continues)

Un fois le choix entre ces options effectué, on devra soit préciser le nom de la fonction de transfert (option 1) soit le nom du fichier de stockage (option 2), puis la nature du trai (plein, pointillés plus ou moins espacés).

OPTION> c

Détermine les coordonnées d'un point défini par la position du curseur. Le déplacement du curseur se fait à l'aide des touches "flèche" du clavier.

OPTION>d

Le choix de cette option conduit au menu suivant :

Enter # , new value (Q to quit) >
(1) Background = 1   *(0=Lines, 1=Hatch marks)*
(2) Foreground = 2   *(0=Lines,1=Points, 2=Spikes, 3=Lines/dots)*
(3) Time axis = 0   *(0=Samples, 1=Times)*
(4) Plot spacing = 1   *(Space between plotted samples)*

Pour modifier une de ces données il faut entrer son numéro d'identification (par exemple 1 pour changer le fond), une virgule puis la nouvelle option (par exemple 0 pour avoir un fond quadrillé)

OPTION>e

Changement des caractéristiques des axes (valeur mini, valeur maxi, graduation).
Cette option conduit à un nouveau menu du même type que celui que nous venons de voir pour l'option "d". Les modifications se feront de la même façon.

OPTION>h

Recopie de l'écran sur un périphérique de sortie (imprimante ou table traçante).

OPTION>l

Permet d'insérer du texte sur le graphique.
Le positionnement du texte se fait à l'aide du curseur que l'on déplace avec les touches "flèche". Une fois la position définie, il suffit de saisir son texte puis de valider en tapant un retour chariot.

OPTION>m

Comme son nom l'indique, cette fonction permet d'augmenter de 50% la valeur maximale de l'axe des x.

OPTION>p

Cette commande permet de valider certaines modifications du tracé, comme le changement d bornes (option E).

OPTION>q

Pour quitter le graphique.

OPTION>t

Modifie l'épaisseur du trait.

OPTION>z

Modifie les valeurs Ymini et Ymaxi pour que la courbe soit centrée sur l'écran.

Asservissement de position

Asservissement de position

Deux maquettes sont disponibles : maquette SET et maquette Tergane

Travaux à réaliser

Après avoir compris, analysé le fonctionnement du système et bien maîtrisé les divers branchements nécéssaires ; pour chaque expérience, faites valider les branchements par l'enseignant .

1. Identifier le système en boucle fermée ; le système SET est déjà bouclé fermée. Noter bien les paramètres des gains. Pour cela mettre le système soit en mode amorti ou sous amorti (mettre le retour tachymetrique à zéro pour le système SET et le déconnecter pour le système TERGANE
2. Simuler le système sur le logiciel CAO et ajuster les paramètres du modèle
3. Analyse de l'hysterésis : exciter le système entre deux échelles –V à V en augmentant d'un dixième et revenir de V vers moins -V de la même façon et noter la position du possible à chaque valleur d'entrée. Tracer la courbe de la sortie en fonction de l'entrée Proposer une autre méthode d'expérimentation pour visualiser l'hystérésis directement sur l'oscilloscope. Faire l'expérience et en déduire l'effet du gain sur l'hystérésis
4. Analyse et commande en boucle fermée sans retour tachymétrique : expérimenter des valeur de gains en similation, observer l'effet du gain sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque le gain augmente. Noter la valeur du gain pour le lequel le système étant surmorti, devient sous amorti et vérifier également l'érreur statique
5. Analyse et commande en boucle fermée avec retour tachymétrique : fixer la valeur du gain et faire augmenter le gain du retour tachymétrique : observer la réponse et conclure
6. Faire l'expérimentation de l'analyse fréquentielle. Pour cela déterminer l'échelle de fréquence. En déduire la bande passante et la fréquentielle de résonnance en notant les valeurs correspondantes des gains. Conclure

TABLEAU DE COMMANDE

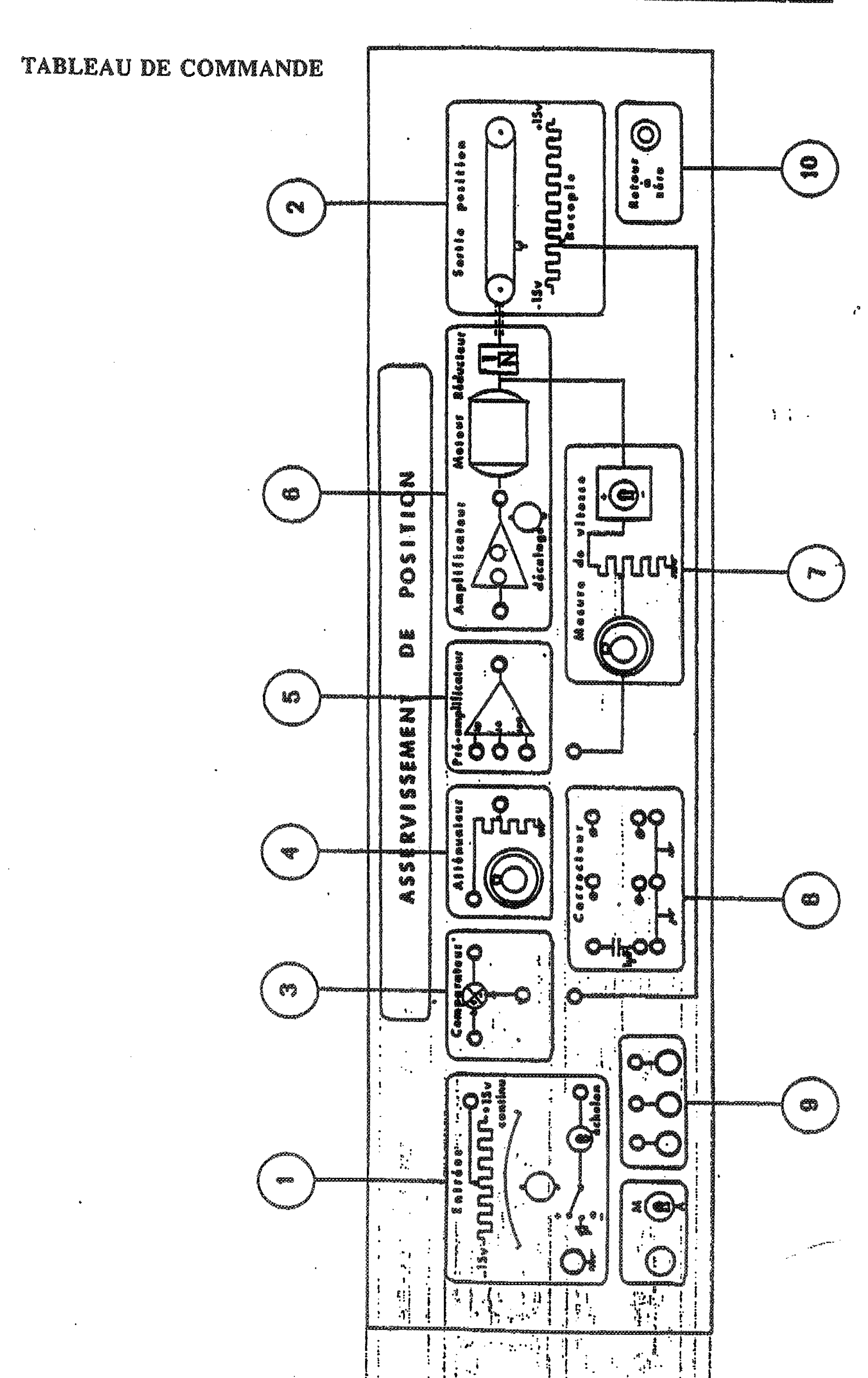
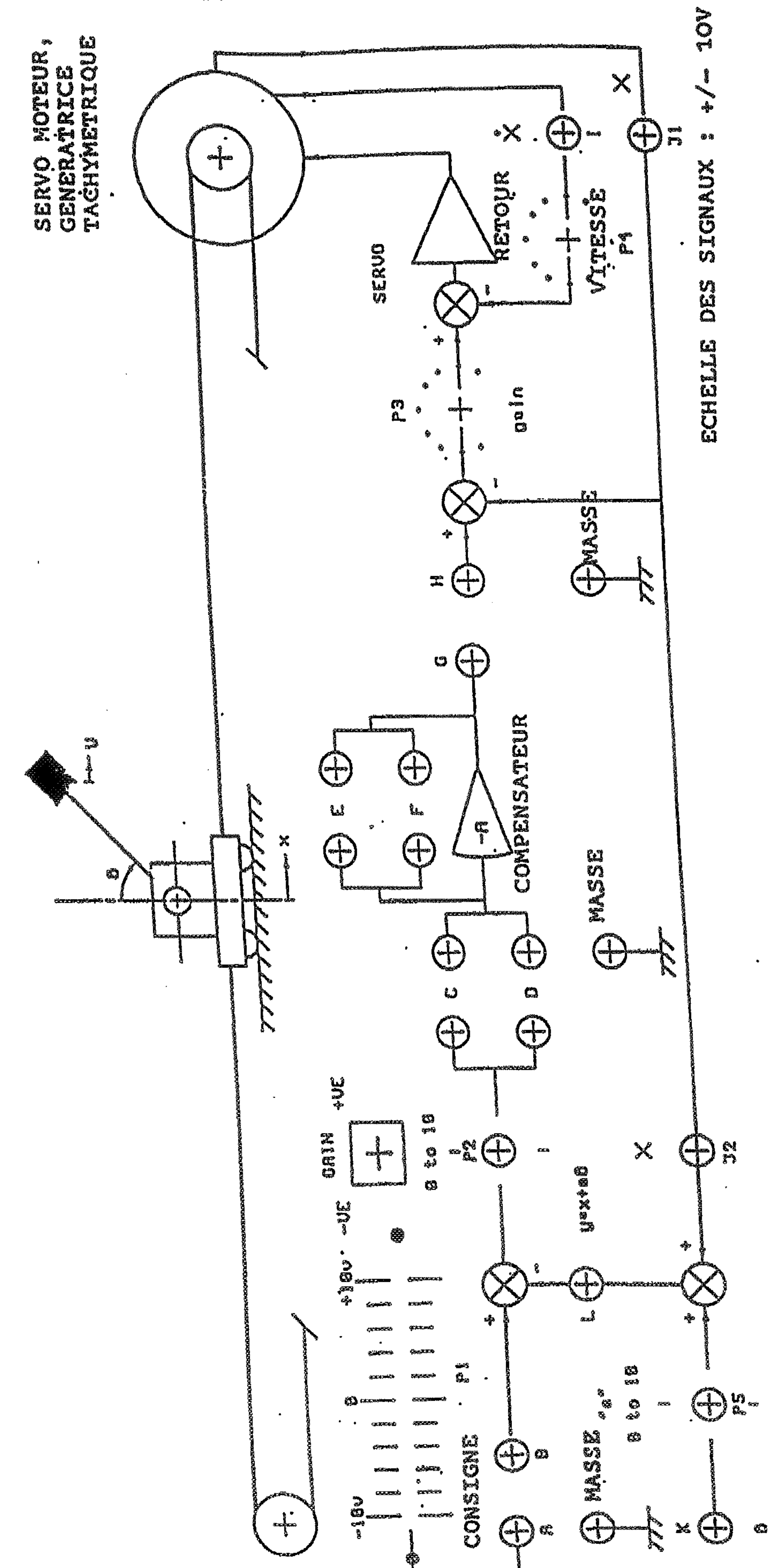


TABLEAU DE COMMANDE



Régulation de Niveau

BP 1.4
0.42.
0.11

Régulation de Niveau

Deux maquettes sont disponibles : l'une à commande analogique (régulateur PID) ou l'alimentation en eau se fait à travers un petite pompe électrique et le débit est ajusté en agissant sur la vitesse de la pompe via la tension d'alimentation. L'autre à commande numérique (régulateur PID) où le débit est ajusté à l'aide d'une vanne de régulation pneumatique
Il est préférable d'avoir les réponse temporelle sur table traçante (à régler avant utilisation)

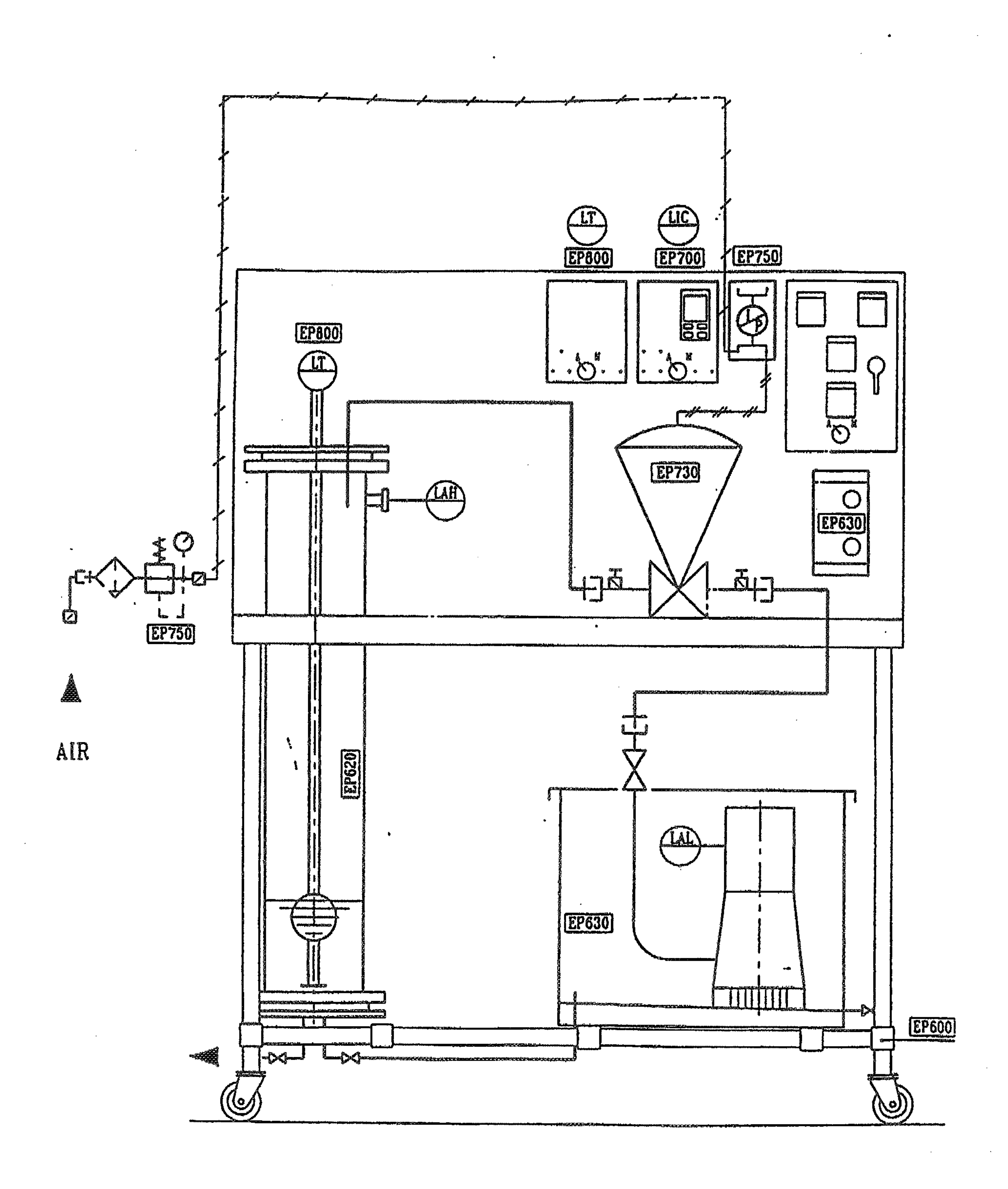
Travaux à réaliser

Après avoir compris, analysé le fonctionnement du système et bien maîtrisé les divers branchements nécéssaires ; pour chaque expérience, faites valider les branchements par l'enseignant .

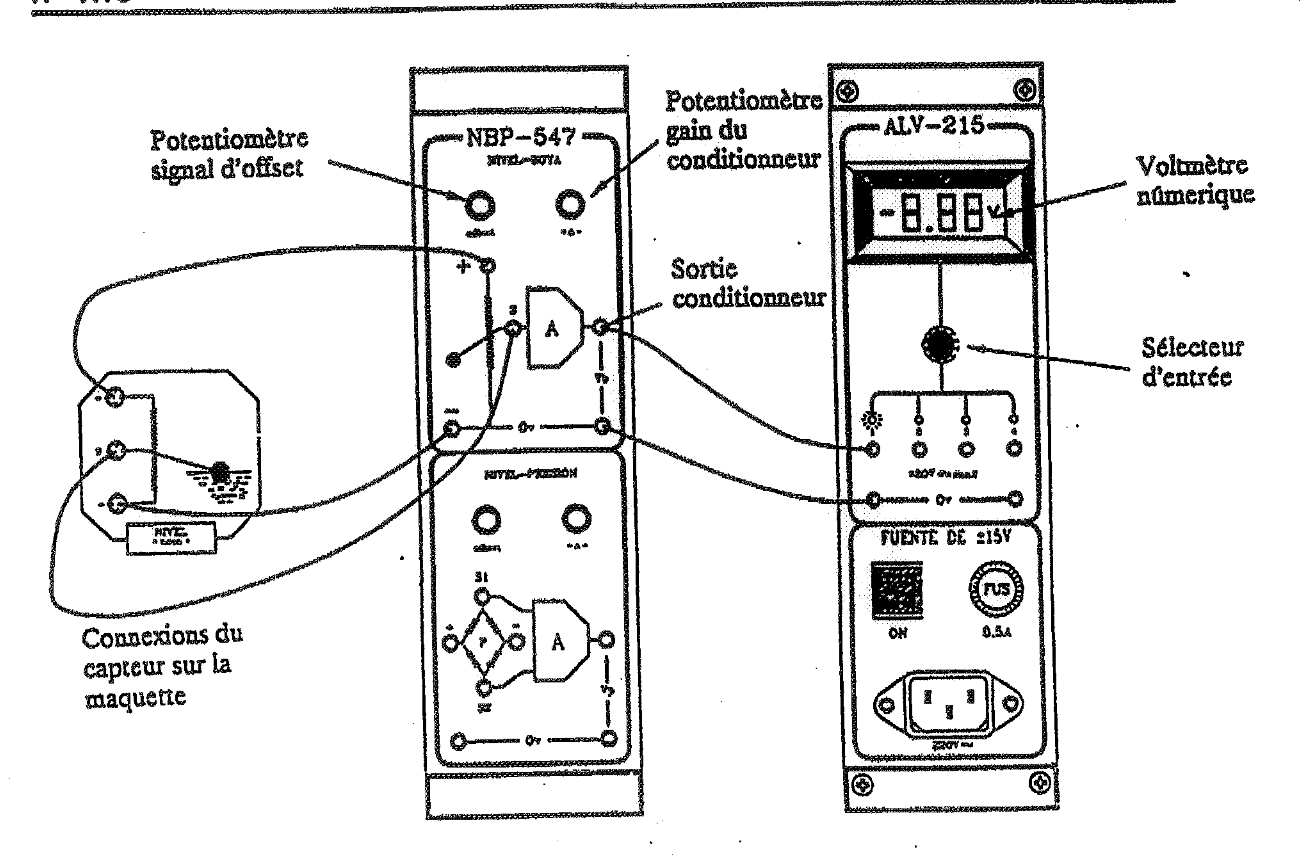
1 Identifier le système en boucle ouverte ; Pour cela générer une fuite et commander le système avec 50% de la valeur maximum (9 psi (0.6 bar) pour la vanne) , vérifier qu'elle est demi-ouverte, et 6 volts pour la moto-pompe. Attention il y a une zome morte (0-3volts environ) au niveau de la moto pompe ; toute entrée doit être supérieure à 3 volts (vérifier la précision de la zone morte).
2 Simuler le système sur le logiciel CAO et ajuster les paramètres du modèle
3 Analyse et commande en boucle fermée avec PID (commande P): expérimenter des valeurs du gain en similation, observer l'effet du gain (P) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque le gain augmente. A noter que la bande proportionnelle (BP) est l'inverse du gain ; c'est la BP qui est affichée sur le régulateur numérique.
4 Analyse et commande en boucle fermée (commande PI): expérimenter des valeur de gains en similation, observer l'effet de l'action intégrale (Ti) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'oberve t-on lorsque l'action Ti diminue
5 Analyse et commande en boucle fermée (commande PID): expérimenter des valeur de gains en similation, observer l'effet de l'action dérivée (D) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'oberve t-on lorsque le gain Td augmente
6 Analyse et commande en boucle fermée avec retour tachymétrique : fixer la valeur du gain et faire augmenter le gain du retour tachymétrique : oberver la réponse et conclure
7 Faire l'expérimentation de l'analyse fréquentielle de la vanne (experimentation regulation numérique). Conclure.

REGULATION
NUMERIQUE

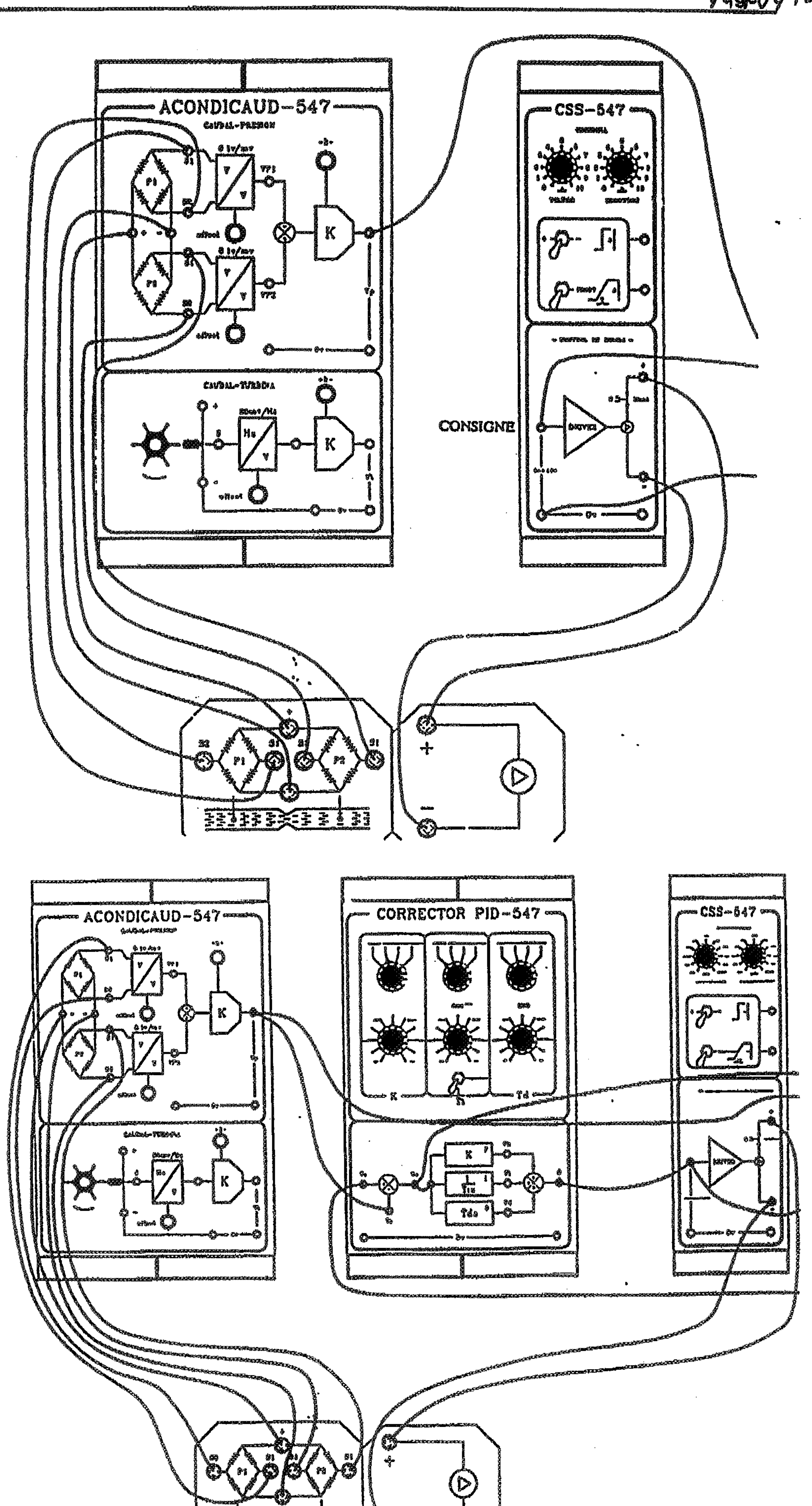
2b



BANC DE REGULATION DE NIVEAU (SUR EAU EN BOUCLE)



CSS-547
CORRECTOR PID-547
ALV-215
K
Ti
Td
DRIVER
K
$\frac{1}{Tis}$
Tds
0v
FUENTE DE ±15V
FUS
ON
0.5A


ACONDICAUD-547
CAUDAL-PRESION
CAUDAL-TURBINA
K
CSS-547
CONSIGNE
ACONDICAUD-547
CORRECTOR PID-547
K
Td
Tde
CSS-547

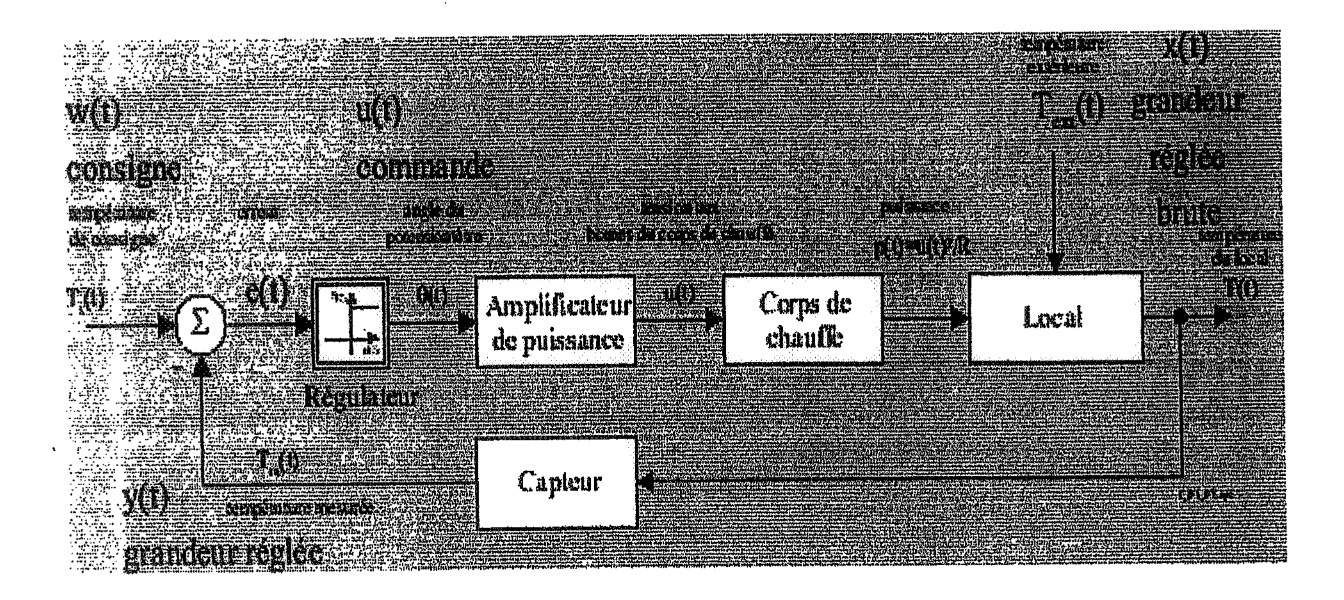
Régulation de Température

Régulation de température

(Documentation correspondante fournie séparément)

Travaux à réaliser

Après avoir compris, analysé le fonctionnement du système et bien maîtrisé les divers branchements nécéssaires ; pour chaque expérience, faites valider les branchements par l'enseignant . La *patience* est de rigueur car les systèmes thermiques sont trop lents.



1. Identifier le système en boucle ouverte ;
2. Simuler le système sur le logiciel CAO et ajuster les paramètres du modèle
3. Analyse et commande en boucle fermée avec PID (commande P): expérimenter des valeur de gains en similation, observer l'effet du gain (P) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque le gain augmente. A noter que la bande proportionnelle (BP) est l'inverse du gain ; c'est la BP qui est affichée sur le régulateur numérique
4. Analyse et commande en boucle fermée (commande PI): expérimenter des valeur de gains en similation, observer l'effet de l'action intégrale (Ti) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'oberve t-on lorsque l'action Ti diminue

Analyse et commande en boucle fermée (commande PID): expérimenter des valeur de gains en similation, observer l'effet de l'action dérivée (D) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque le gain Td augmente.

Simulation Analogique et Robotique

Simulation Analogique et Robotique

(ces TP seront fait en une demi-séance chacun : permutation des binômes à la pause ; ils seront remplacés partiellement par la manipulation sur la régulation de température)

Robotique : C'est un robot à cinq degrés de liberté. Il est commandé via un logiciel dédié (sous *C:/ATS/Robot* , commande *menu*). Travaux à effectuer

- Définition de l'espace de travail
- Définition de la précision
- Programmation par apprentissage et répétabilité

Simulation sur calculateur analogique : c'est un calculateur permet de simuler des systèmes dynamiques.

Travaux à réaliser après familiarisation
- Simulation d'un système du 1er Ordre
- Génération d'un signal sinusoïdal
- Simulation d'un système du 2ème ordre

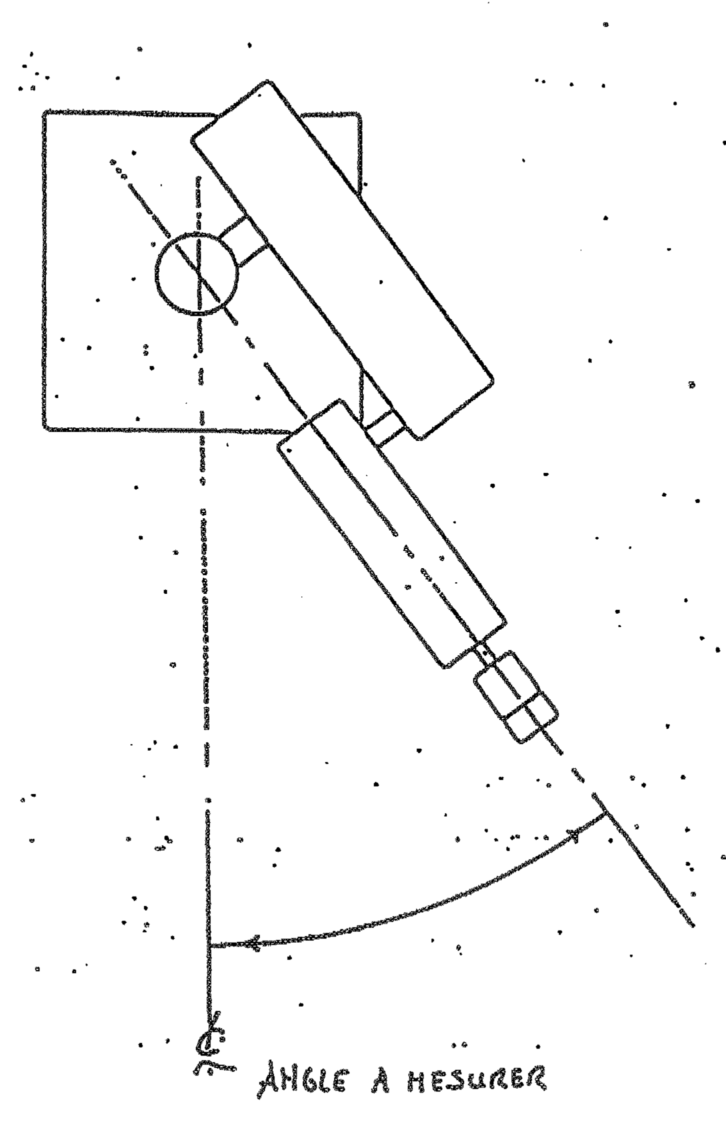
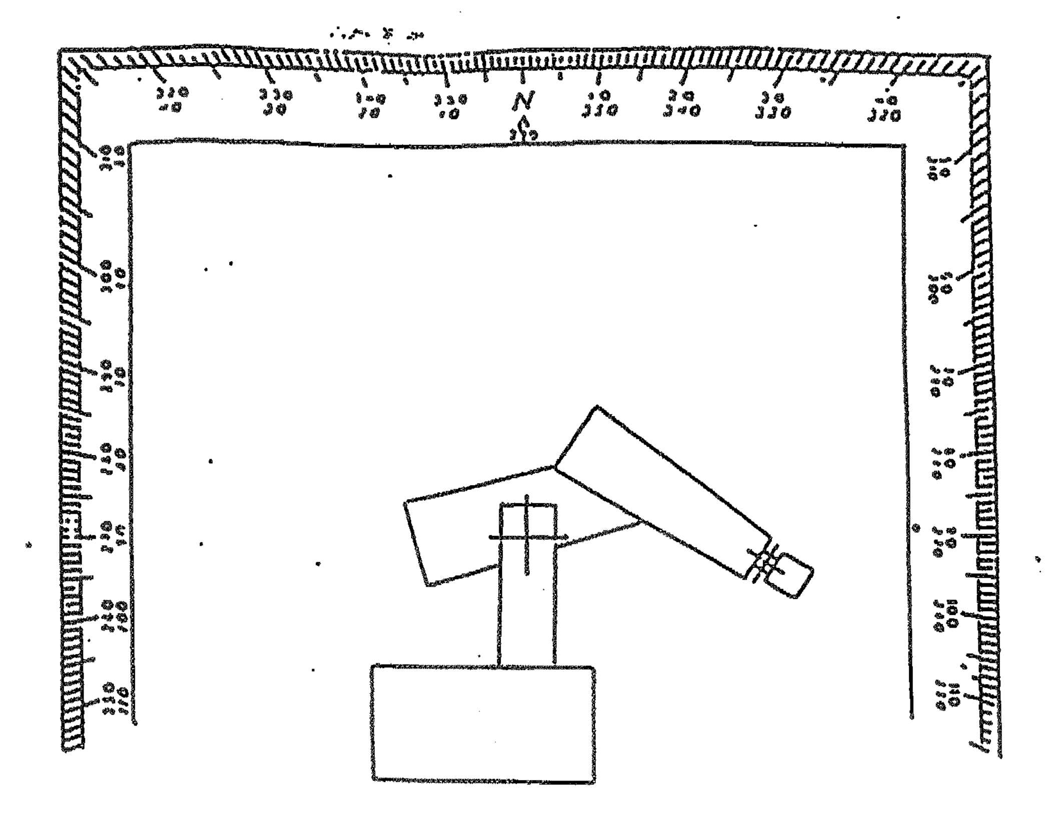


Figure B



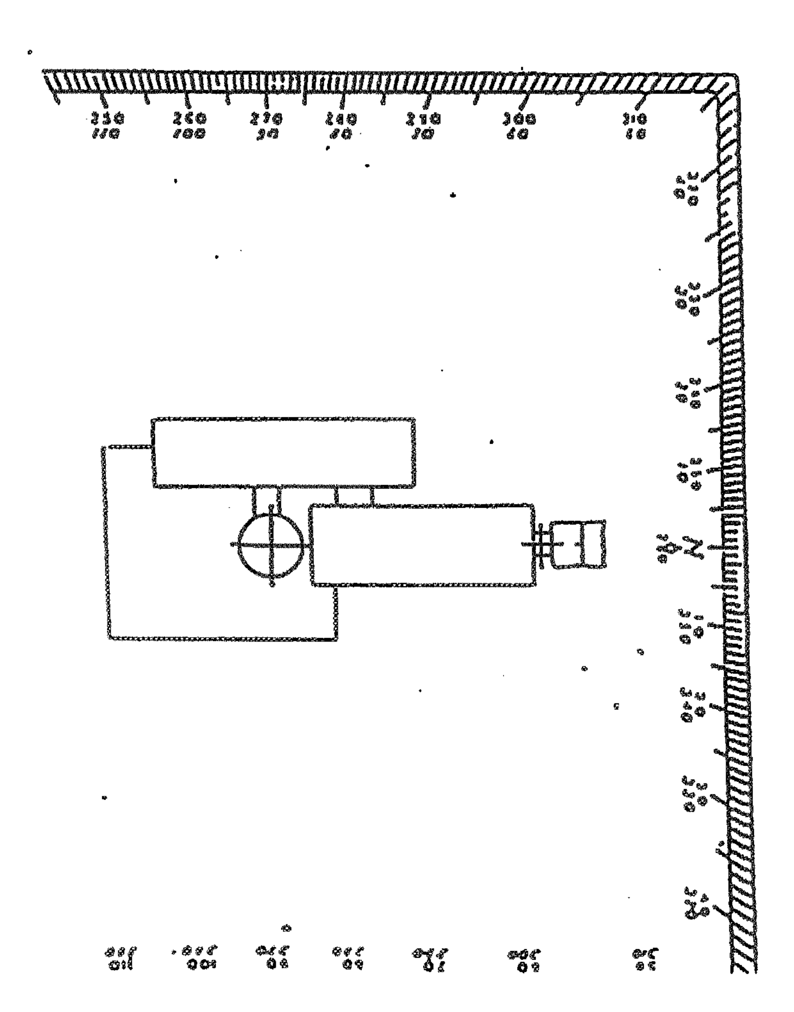


Figure D

AXES	PREMIER ANGLE MESURÉ (DEGRÉS)	DEUXIÈME ANGLE MESURÉ (DEGRÉS)	ANGLE TOTAL
0 (TAILLE)			
1 (EPAULE)			
3 (COUDE)			
ÉLÉVATION DU POIGNET			
ROTATION DU POIGNET			

Figure C bis

INTRODUCTION

Le calculateur analogique EAI-1ØØØ, produit par "Electronic-Associates-Inc", se veut un outil à vocation pédagogique de résolution d'équations linéaires et non linéaires.

Cette documentation ne se veut nullement exhaustive. Elle constitue en soi une présentation générale des possibilités de l'EAI 1ØØØ pour son utilisation pratique immédiate.

Pour de plus amples renseignements, notamment quant à la maintenance, aux moyens d'extension, le lecteur est prié de s'en remettre aux ouvrages suivants :

- "EAI-1ØØØ Reference and Maintenance Manual"
- "EAI-1ØØØ Hybrid Control Interface"
- "EAI-1ØØØ Digital Coefficient Alternuator"
- "EAI-1ØØØ Primer on Analog Computations and
  Examples for EAI 1ØØØ series of computers

Afin de faciliter la lecture des documents écrits en langue anglaise, les termes techniques principaux seront donnés entre parenthèses.

1. - DESCRIPTION GENERALE

1.1. - Le panneau de câblage : (Patch panel)

1.1.1. - Aspect général

- Le panneau est composé de haut en bas de :
  . Une zone d'affichage (Display panel)
  . Deux modules analogiques (Field Ø and Field 1) numérotés champ Ø et champ 1.
  . Zone signaux logiques et réglage du "mode" REP.
- Les dix boutons de réglage à droite du champ 1 (P_0 à P_9) concernent les potentiomètres du même champ.

1.1.2. - La zone d'affichage : (Display panel)

EAI-1000

OVERLOAD

	I0	I1	I2	I3	S0	S1	S2	S3	S4	S5	M0	M1	F0	F1
F0 0	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
F0 1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
F0 2	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

FN: T o I o S o / M o F o A o / P o C o Q o — FD: 0 — No: 8 — VALUE: ±1.888

- La ligne FD2 de la zone de saturation (OVERLOAD) ne sert pas. Signalons simplement que le système modulaire permet de monter jusqu'à trois unités.

- La saturation d'un opérateur survient lorsque sa valeur dépasse 1.3ØØ en valeur absolue. Dans ce cas, le voyant rouge correspondant s'allume.

- La précision du cadran de lecture est de 10^{-3}.

1.1.3. - Les modules analogiques : (Analog patch panel)

- Voir figure ci-contre
- L'unité machine vaut : 1 U.M. = 5 volts
  On peut trouver ± 1 U.M. aux plots marqués +R ou -R.
- [0] et [0] désignent des ∅ et 1 logiques.

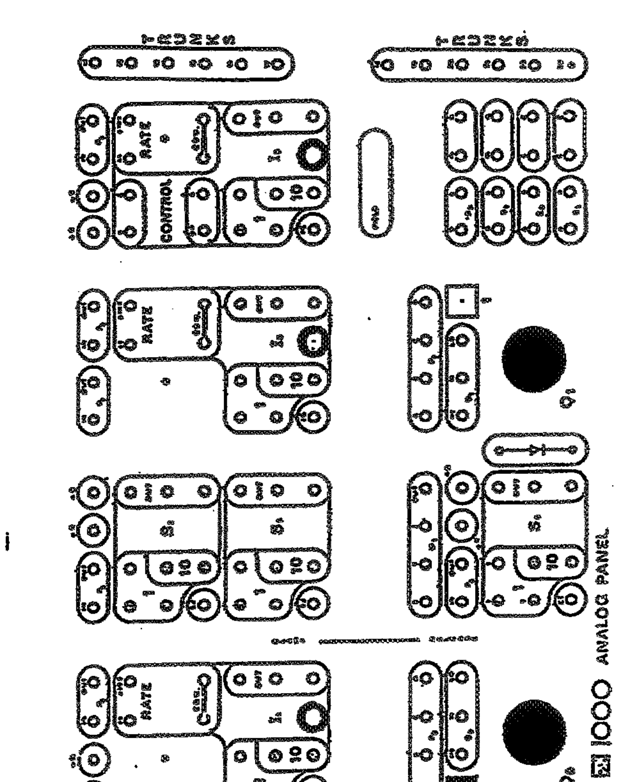
  0 1
- Bien que cela ne représente pas de danger pour le calculateur, il n'est pas recommandé de relier la logique aux opérateurs analogiques ou vice-versa.

- Sur chaque opérateur (Sommateurs ...), les entrées sont signalées en vert, et les sorties en rouge.

1.1.4. - Zone signaux logiques

- On n'explicitera que les plots aménagés au départ.
  Sont donc exclus des plots tels que XT_0 à XT_7, UT_8 à UT_{23}, AMP_0 à AMP_5, P, X, AG, DG, qui servent à la liaison aux périphériques ou au branchement esclave-maître avec un autre EAI 1000.

- L_0 -L_1 : sont de simples indicateurs. Des bornes réceptrices qui s'allument lorsque l'entrée vaut 1 (logique).



ANALOG PATCH PANEL

Key to Computing Elements:-

S0-3	Summer	P0-9	Grounded Potentiometer	F0-1	Free Function
S4-5	Summer Stores	Q0-1	Ungrounded Potentiometer	D0-1	Flip Flop
I0-3	Integrator	C0-1	Comparator	G0-1	Gate
M0-1	Multiplier	A0-1	Analog Switch		

- S_0 - S_1 : des bornes émettrices de ø ou 1 logique selon la position de la manette.

- A - Ā : voir (4.3.2.)

- O V L : (overload) : borne émettrice, active basse, qui se met à ø lorsqu'une saturation d'un quelconque opérateur survient.

- H L D : borne réceptrice, active basse qui déclenche le mode HOLD lorsqu'un ø (logique) apparaît à l'entrée.

D'où l'intérêt de relier la borne OVL à HLD.

- RAMP : déclenche, à l'apparition du mode OP, une rampe analogique pour guider l'axe horizontal d'un oscilloscope ou d'une table traçante.

1.2. - Le clavier : (keyboard)

EAI					
	A	INC	DEC	FST	⊘ REP
F	T	7	8	9	⊘ HLD
P	M	4	5	6	⊘ OP
Q	S	1	2	3	⊘ IC
C	I	0	CLR	RST	PS

- HLD, OP, IC, REP : servent au déclenchement des modes correspondants (voir 4.3.2).

- CLR (Clear) : détruit la dernière instruction entrée.

- RST (Reset) : provoque le redémarrage du programme du microprocesseur. Annule tous les ordres précédents.

- A, F, T, P, M, Q, S, C, I : touches sélection de fonctions (voir à 4.)

A : (Analog Switch) Aiguillage analogique
F : (Free Function) Fonction laissée libre
T : (Trunk) Lignes interpanneau
P : (Potentiometer) Potentiomètre
M : (Multiplier) Multiplieur
Q : (Ungrounded pot) potentiomètre non mis à la masse
S : (Summer) Sommateur
C : Fonction servant à l'affichage des potentiomètres numériques.
I : (Integrator) Intégrateur

Note : F n'est pas aménagée.

- INC, DEC : incrémentation et décrémentation. Sert au défilement des opérateurs. On peut presser brièvement ou maintenir la pression.

Note : FST (Fast) n'est pas aménagée.

- PS (Pot.Set) : sert au réglage manuel ou à la lecture des coefficients concernés (Q_{xy} ou P_{1x})

2. - MISE EN ROUTE ET INITIALISATION

- Le bouton de mise en route est situé à l'arrière du calculateur. Ainsi, les hautes tensions ne présentent pas de danger pour le manipulateur.
- Avant toute utilisation, dès la mise en route, il est recommandé d'initialiser le microprocesseur au moyen de la touche RST du clavier.

3. - LES MODES DE FONCTIONNEMENT

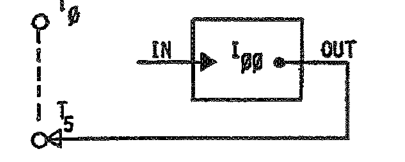
- Pour les trois modes HLD, IC, OP, et le pseudo-mode REP, se reporter à (4.3.2.).

4. - LES OPERATEURS ANALOGIQUES

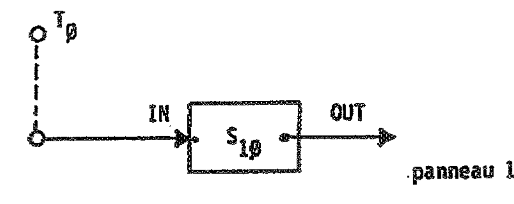
4.0. - Les lignes analogiques inter-panneaux (T : Trunk-lines)

Le système de connections internes T_0 - T_{23} sert à transporter un signal d'un panneau à un autre dansle cas de calculateurs munis de plus d'un panneau.

Exemple :



panneau Ø



panneau 1

Les lignes T_8 à T_{11} et T_{20} à T_{23} sont adaptées aux liaisons avec les périphériques (entrées et sorties) tels que : tables traçantes, oscilloscopes, etc....

4.1. - Diodes

Il s'agit de diodes classiques qui servent à des montages spécifiques (voir exemples en annexe et multiplieurs).

4.2. - Potentiomètres

Symbole : P : potentiomètre mis à la masse (Grounded)
Q : potentiomètre non mis à la masse (Ungrounded pot).

- Chaque module analogique (Fields Ø et 1) est muni de dix P (P_0 à P_9) et de deux Q (Q_0 et Q_1).

- Leurs valeurs sont à fixer entre Ø et 1. (voire .999).

4.2.1 - Potentiomètres à affichage numérique

- Les P du module supérieur (Field Ø : P_{00} P_{09}) sont à affichage numérique (DCA : Digital Coeff. Attenuator).

Exemple de procédure (set) :

. Objet : mettre le potentiomètre n°3 du champ Ø, donc P_{03}, à la valeur 0,584 (qu'on note .584).

. Procédure : Appuyer sur les touches [C] [Ø] [3] pour se placer sur le potentiomètre voulu, la valeur actuelle (nulle après ReSet) s'affiche, puis sur [5] [8] [4] .

4.2.2. - Potentiomètres à réglages manuels

- Tous les autres potentiomètres (Q_{00}, Q_{01}, P_{10} à P_{19}, Q_{10} et Q_{11}) sont à réglage manuel direct au moyen des boutons du panneau.

Exemple de procédure :

. Objet : mettre P_{18} à la valeur 0.782

. Procédure :

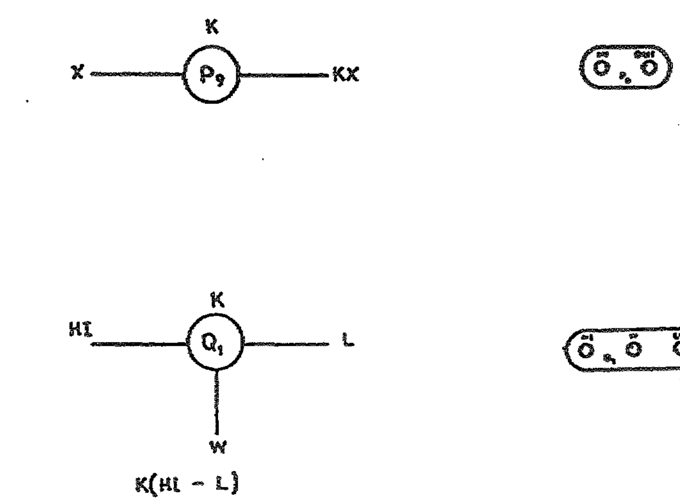
- Se placer sur le potentiomètre désiré : appuyer sur [P] [1] [8]

- Appuyer sur [PS] (Pot.Set) et maintenir la pression pendant le réglage. Cette action déconnecte tous les potentiomètres du tableau et envoie 1 U.M. à leur borne d'entrée (on se place ainsi en SET POT.MODE).

Page 8

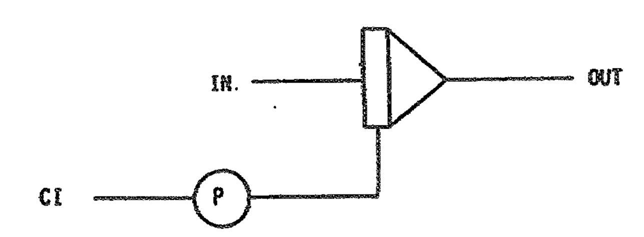
- A l'affichage apparaît alors la valeur actuelle du potentiomètre.

- La valeur désirée s'obtient en tournant le bouton concerné. (P_8 pour P_{18}).



4.2.3. - Notes

- Pour rentrer la condition initiale (CI) dans un intégrateur, l'utilisation d'un Q n'est pas recommandée.



- La valeur des P_{01}, ..., P_{0g}, lesquels sont à affichage numérique, peut être lue (uniquement) de la même manière en appuyant sur [P] [0] [x] puis [PS]

- Il n'est pas possible de passer de C $\emptyset_x$ à C $\emptyset_y$ par l'action des touches [INC] et [DEC]

4.3. - Les intégrateurs : I

4.3.1. - Aspect général

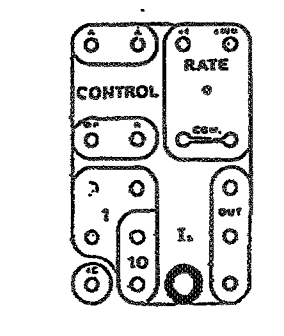
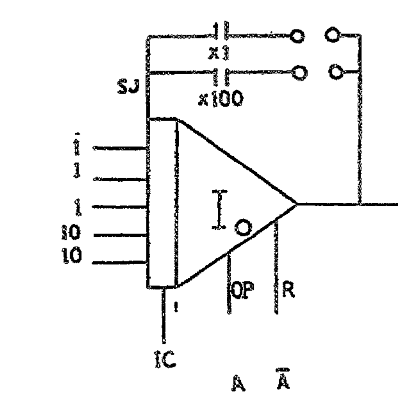


Diagramme fonctionnel



- Chaque intégrateur est muni de :

  . 3 entrées à gain unité (Zone 1)
  . 2 entrées à gain 10 (Zone 10)
  . 3 sorties (Zone OUT)
  . 1 entrée à gain unité pour la condition initiale (IC)
  . 1 taux d'intégration temps réel (X1) de 1 Volt/sec
  . 1 taux d'intégration (X100)

- Les intégrateurs I_0 et I_3 de chaque champ sont, de plus, munis d'une zone CONTROL permettant leur contrôle externe (voir 4.3.3.2.).

4.3.2. - Les trois modes

Les intégrateurs opèrent dans les trois modes suivants :

1 - Mode HOLD : (gel)
Tous les intégrateurs sont disconnectés intérieurement. La valeur de sortie est celle atteinte à l'instant d'apparition du Mode Hold.

2 - Mode IC : (condition initiale)
Les intégrateurs acceptent les CI et affichent, du fait du changement de signe, l'opposé ou se mettent à zéro si aucune condition initiale n'existe à l'entrée.

3 - Mode OP :
C'est le mode opérationnel : l'intégrateur intègre les grandeurs d'entrée.

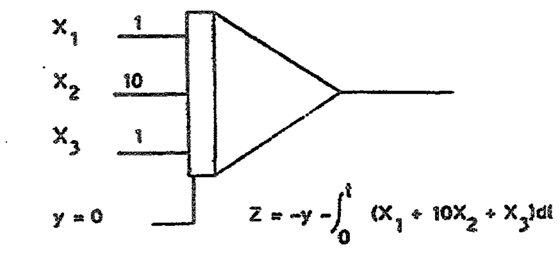
- Dans le cas du "mode" REP, les modes IC et OP sont enclenchés de manière alternative à un taux fixé par le réglage de période (voir les deux boutons en bas à droite du panneau). Ce mode sert notamment dans des situations de solutions multiples avec ajustement de paramètres pour recherche d'optimum.

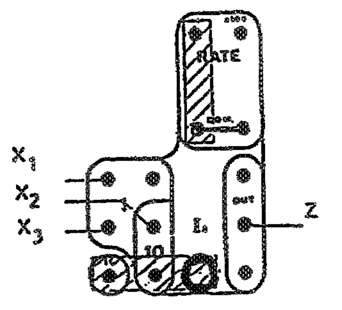
- Note : les signaux logiques A et $\bar{A}$ sont liés à ces modes. A est attaché au mode OP et $\bar{A}$ au mode IC. Ils sont en outre "actif bas", c'est-à dire :

	A	$\bar{A}$	
OP	∅	1	A seul actif
IC	1	∅	$\bar{A}$ seul actif
HOLD	1	1	A et $\bar{A}$ non-actifs

4.3.3. - Différentes configurations d'utilisation

4.3.3.1. - Utilisation en intégrateur temps réel :





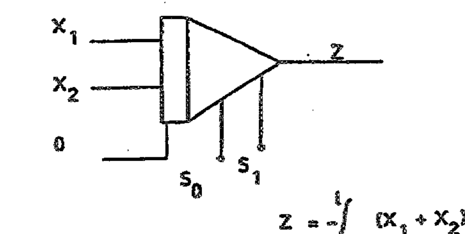
4.3.3.2. - Exemple d'utilisation avec contrôle externe

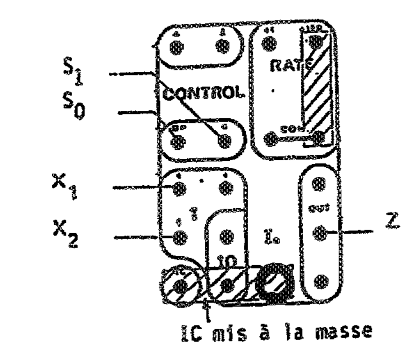
- Réservé aux intégrateurs I_0 et I_3 de chaque champ.

- OP et R sont les bornes réceptrices (signaux actifs bas) qui conditionnent l'état de l'intégrateur.

- En temps normal, A et $\bar{A}$ étant reliés à OP et R respectivement, au moyen des court-circuits rigides (patch plugs), l'intégrateur est régi par les modes HLD, IC et OP (éventuellement REP).

- Pour l'utilisation avec contrôle externe.
<u>Il importe donc de retirer ces courts-circuits rigides</u>



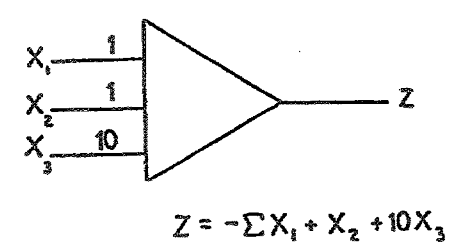


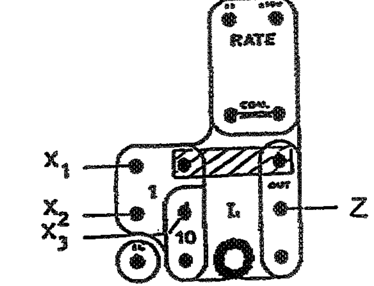
lorsque $S_0 = \emptyset$ et $s_1 = 1$
- On a remise à zéro (puisqu'ici IC = ∅) lorsque S_1 passe à ∅.

- Notes : le contrôle logique externe peut bien sûr être assuré par d'autres signaux logiques que S_0 et S_1.

R prime sur OP : dans l'exemple cité, c'est zéro qui s'affiche si S_0 et S_1 sont nuls, c'est-à-dire actifs, tous deux.

4.3.3.3. - Utilisation en sommateur

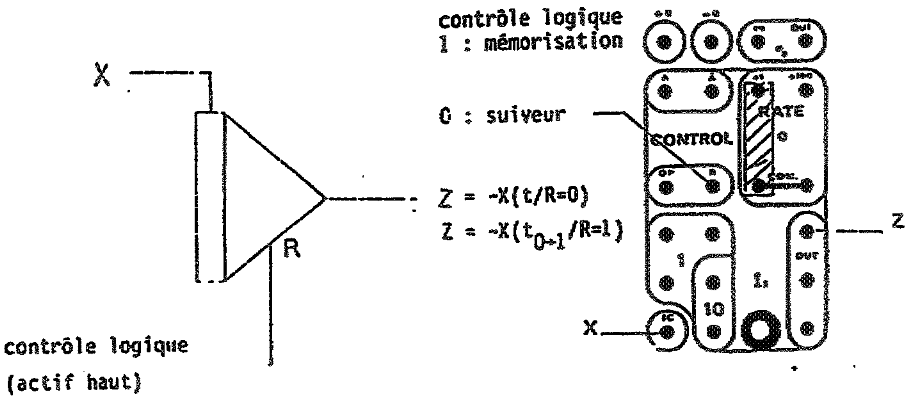




- Notes : - Retirer le court-circuit du taux d'intégration (Zone RATE)
  - Il faut se placer en mode OP.
  - Si on place le retour entre OUT et une entrée 10 on a :

$$Z = - \frac{X_1 + X_2 + 10X_3}{10}$$

4.3.3.4. - Utilisation en track-store : T/S



- Lorsque R passe de 0 à 1, la sortie Z conserve l'opposé de la valeur atteinte par l'entrée X au moment du passage du signal logique.

4.4. - Les sommateurs - S

4.4.1. - Aspect général

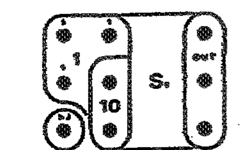
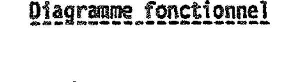
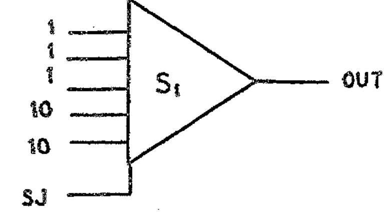


Diagramme fonctionnel

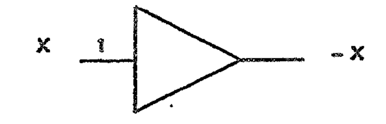




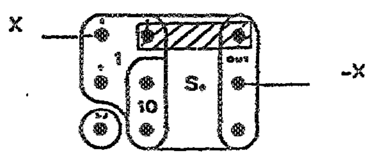
- Les sommateurs S_0 à S_3 (champ 0 et 1) possèdent :

  . 3 entrées à gain unitaire
  . 2 entrées à gain (X 10)
  . 1 jonction

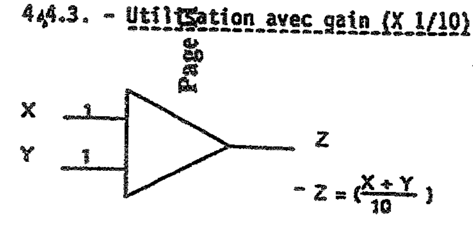
- Pour toute application, le court-circuit rigide doit être mis en place, le cas du gain pré-réglé constituant la seule exception.

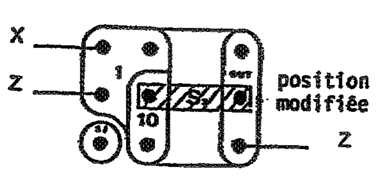
4.4.2. - Utilisation en inverseur :





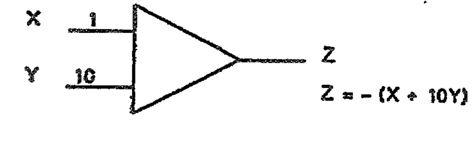
4.4.3. - Utilisation avec gain (X 1/10)

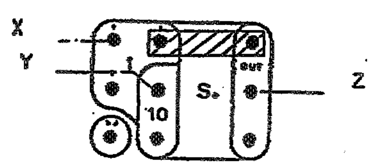




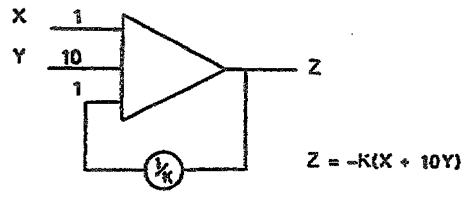
Note : ▨ représente le court-circuit rigide.

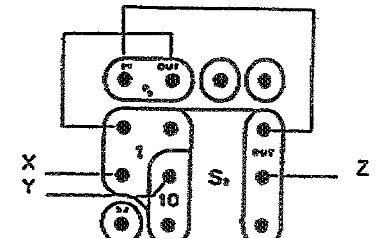
4.4.4. - Utilisation la plus commune





4.4.5. - Utilisation avec gain pré-réglé



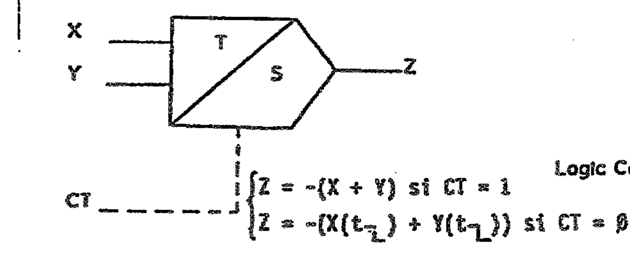


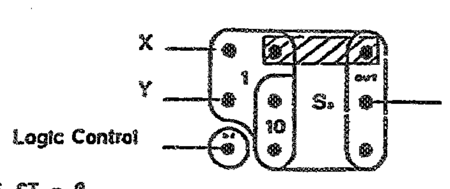
- Note : Attention, il faut afficher 1/K pour avoir $Z = -K(X + 10\,Y)$

4.4.6. - Utilisation en Track-Store

- Elle n'est possible qu'avec les sommateurs S_4 et S_5 des champs Ø et 1.

- Le signal logique est actif bas.





- Si CT = 1, le T/S se comporte en sommateur classique.

- Au passage de 1 à Ø du contrôle logique, la sortie est mémorisée.

4.5. - Les multiplieurs : M_0 - M_1

4.5.1. - Aspect général

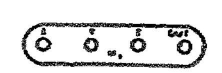
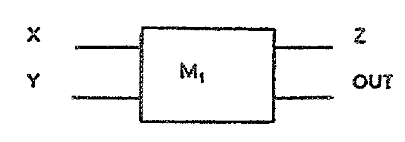
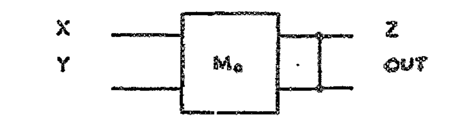
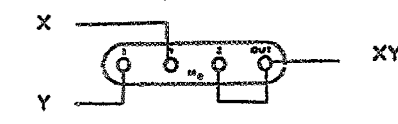


Diagramme fonctionnel



4.5.2. - Utilisation en multiplieur





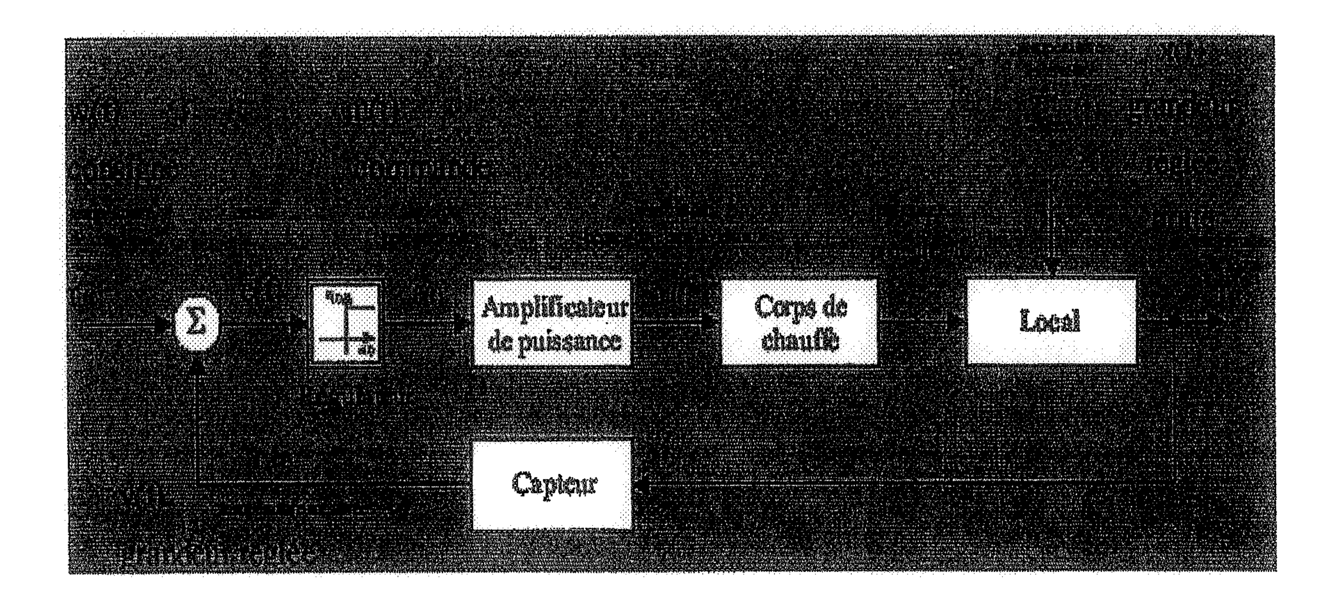
ANNEXES

Régulation de température

(deux maquettes : régulation analogique et régulation numérique)

Travaux à réaliser

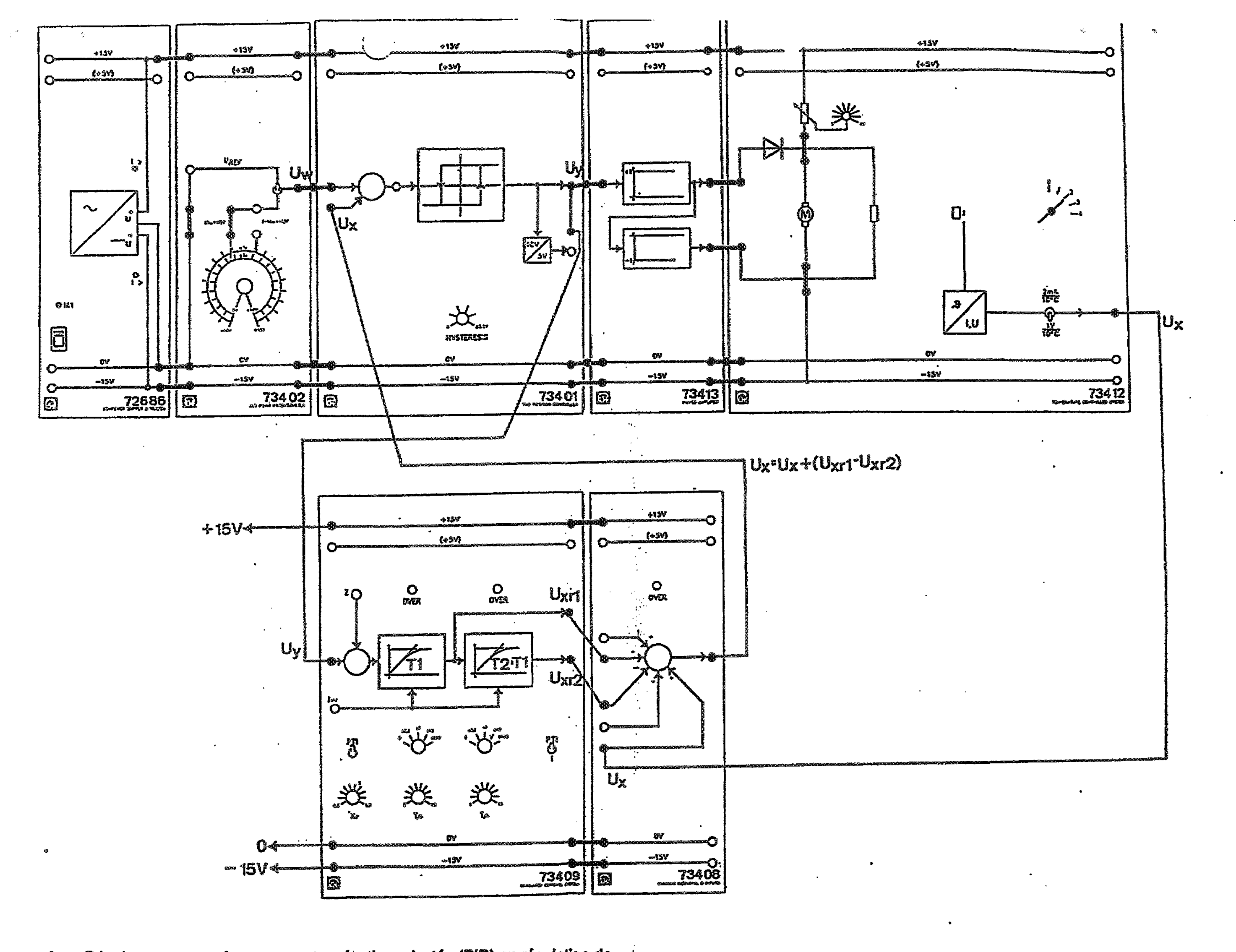
Après avoir compris, analysé le fonctionnement du système et bien maîtrisé les divers branchements nécéssaires ; pour chaque expérience, faites valider les branchements par l'enseignant . La *patience* est de rigueur car les systèmes thermiques sont trop lents.



Les systèmes thermiques sont très lents et donc faire attention aux consignés. L'initialisation prend également du temps car remmetre le système à une température initiale prend également du temps ; on conseille de prendre des cosignes pas trop importantes.

1. Identifier le système en boucle ouverte (étape optionnelle)
2. Simuler le système sur le logiciel CAO et ajuster les paramètres du modèle
3. Analyse et commande en boucle fermée avec PID (commande P): expérimenter des valeur de gains en similation, observer l'effet du gain (P) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque le gain augmente. A noter que la bande proportionnelle (BP) est l'inverse du gain ; c'est la BP qui est affichée sur le régulateur numérique
4. Analyse et commande en boucle fermée (commande PI): expérimenter des valeur de gains en similation, observer l'effet de l'action intégrale (Ti) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'oberve t-on lorsque l'action Ti diminue

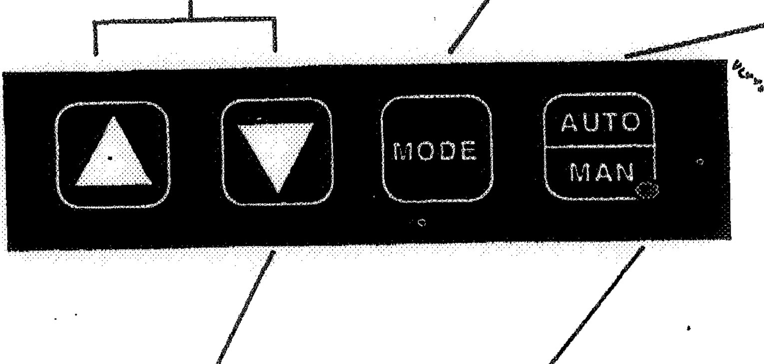
Analyse et commande en boucle fermée (commande PID): expérimenter des valeur de gains en similation, observer l'effet de l'action dérivée (D) sur la réponse temporelle. Conclure. Qu'observe t-on lorsque le gain Td augmente.



3 Régulateur tout ou rien avec contre-réaction adaptée (PID) en régulation de température

Series 980/985 Keys

Figure 27 - Series 980/985 Keys



UP/DOWN keys
When pressed simultaneously for 3 seconds, the Setup Menu appears displaying the LOC parameter. From the LOC parameter, press the UP/DOWN keys again and the Calibration Menu appears.

MODE Key
Steps the control through the Operating menu; also, in the Auto mode, enters new data selected less than 5 seconds previously.

AUTO/MAN Key
Pressed once, it clears any latched alarms. If the key is pressed again within 5 seconds, the control toggles between the Auto and Manual mode. While in the Manual mode, percent power is always displayed in the lower display.

UP Key
Increases the value of the displayed parameter. A light touch increases the value by one. Holding the key down increases the display value at a rapid rate. New data is self entering in 5 seconds.

DOWN Key
Decreases the value of the displayed parameter. A light touch decreases the value by one. Holding the key down decreases the displayed value at a rapid rate. New data is self entering in 5 seconds.

Auto/Manual LED
Lit when the control is in Manual operation. Press the key twice to enter Auto operation. A blinking Auto/Manual LED indicates that pressing the Auto/Manual key toggles between Auto and Manual. After 5 seconds without pressing the Auto/Manual key, the LED stops blinking, and returns to its previous state.

Where To Go From Here

Now that you know how to read the keys and displays, continue to Chapter 4 to begin entering data and setting up your Series 980/985.

Chapter 4

How To Setup The Series 980/985

Setting up the Series 980/985 is a simple process. First configure the 980/985's features to your application in the Setup Menu, and then enter values in the Operating Menu. Both tasks use the MODE key to move through the menus and the UP/DOWN keys to select data.

NOTE:
While in the Setup menu, all outputs are OFF.

Entering the Setup Menu

The Setup Menu displays the parameters that configure the Series 980/985's features to your application.

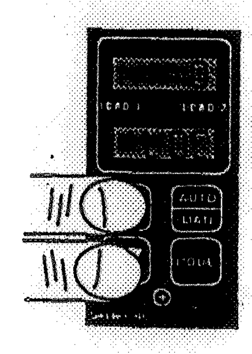


Figure 27 - Entering the Setup Menu.

To enter the Setup Menu, press the UP and DOWN keys simultaneously for 3 seconds. See Figure 27. The Lower display shows the LOC parameter, and the Upper display shows its current level. All keys are inactive until you release both keys. You can get to the LOC parameter from anywhere.

Use the MODE key to cycle through the menu; use the UP/DOWN keys to select Setup data. You may not see all the parameters in this menu, depending on the unit's configuration and model number. After stepping through the menu, you will return to the control set point parameter under the Operation menu.

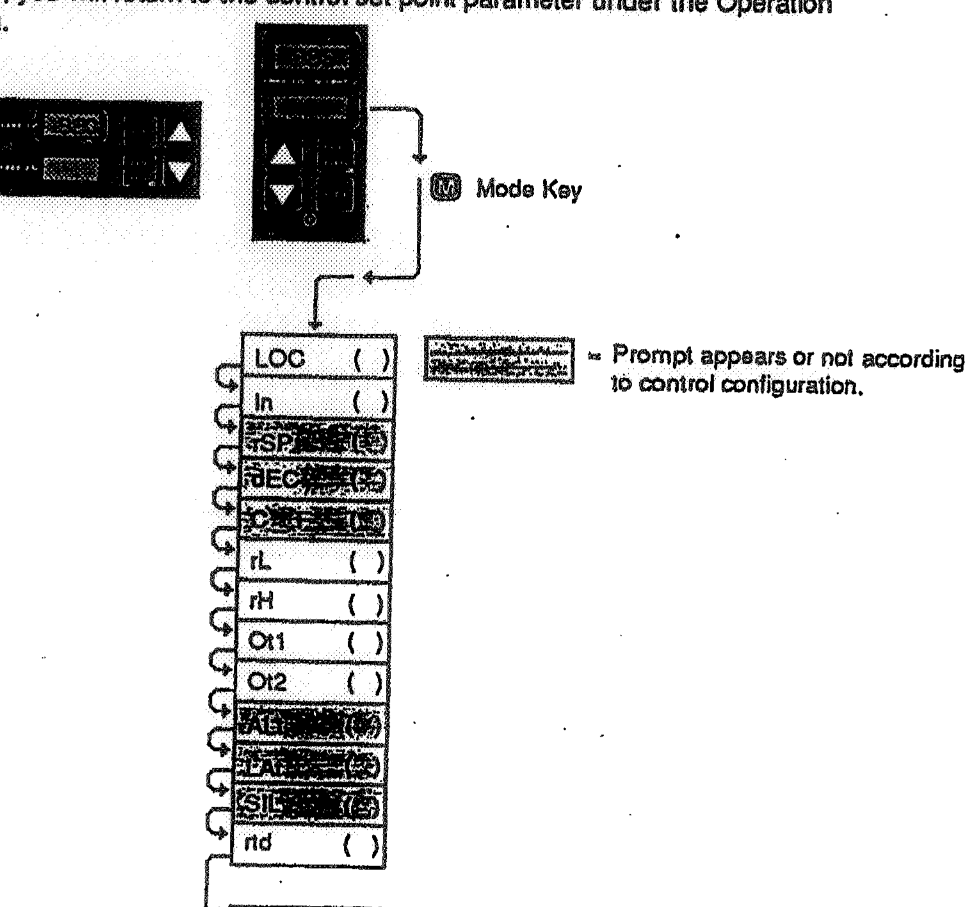
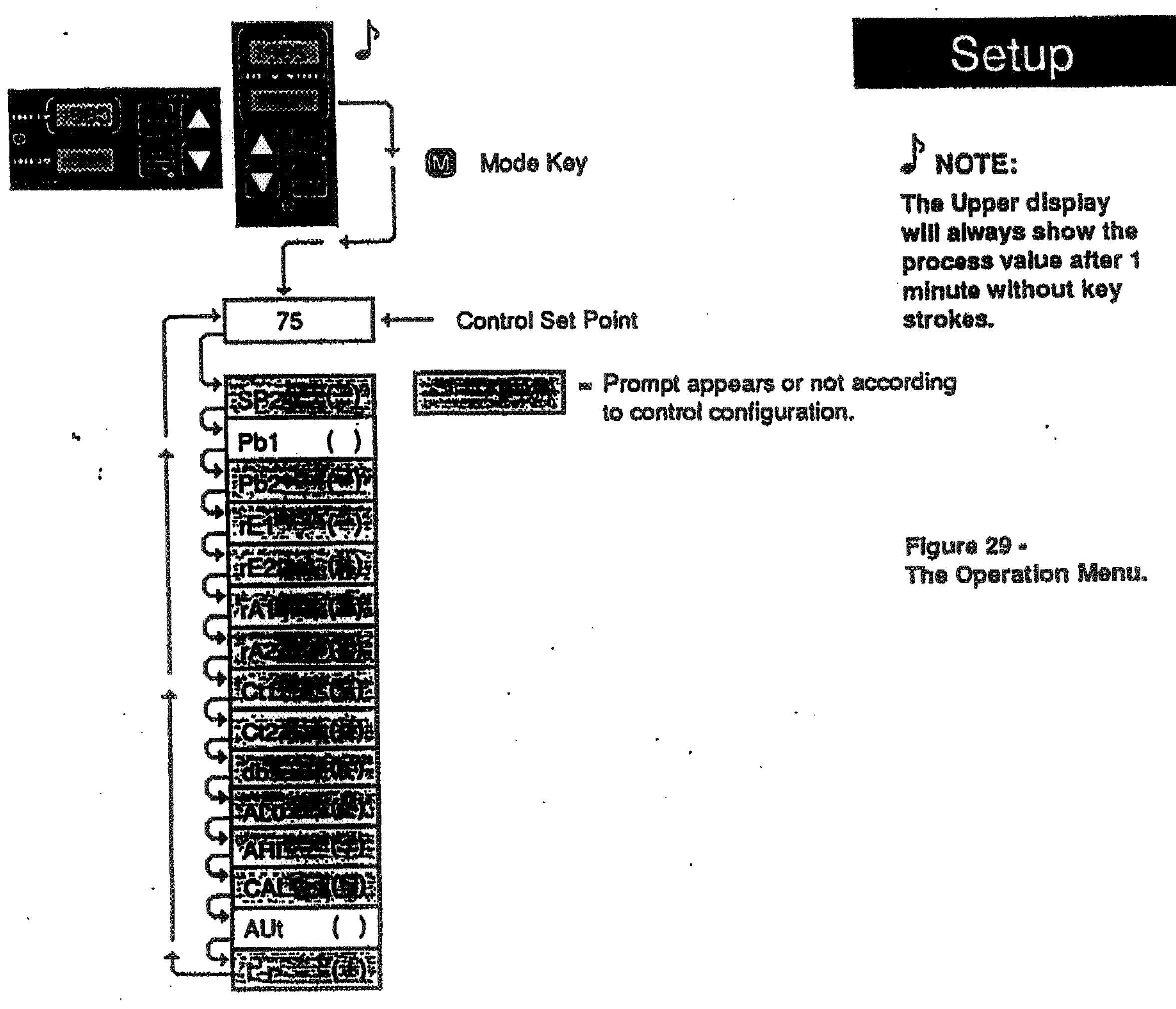


Figure 28 - The Setup Menu.

NOTE:
When using a process input such as 0-5VDC or 4-20mA, the rL and rH settings scale the display to match the measured range of the process signal.



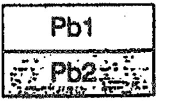
NOTE:
The Upper display will always show the process value after 1 minute without key strokes.

Figure 29 - The Operation Menu.

Operation Parameters

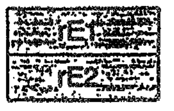
SP2

Set Point 2: Sets the operating set point for Output 2 when control mode is Ht/Ht or CL/CL. SP2 only appears when Ot1 and Ot2 are the same, and functions as an ON/OFF control.

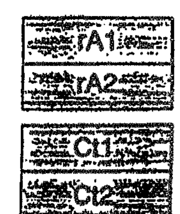


Proportional Band: Set the proportional bandwidth for each Output, adjustable from 0° to 999°F or 0 to 555°C for ranges displayed in whole degrees, and 0 to 99.9°F or 0 to 55.5°C for ranges displayed in 0.1°. If set at Pb = 0, the Series 980/985 functions as a simple ON/OFF control with a 3°F or 1.7°C switching differential for ranges displayed in whole degrees, and 0.3°F or 0.17°C for ranges displayed in 0.1°. The default is 25°F/13°C.

If the input type is 0-5VDC or 4-20mA, the range of Pb1 is 0-999, 0-99.9 or 0-9.99 (determined by the value of DEC). The switching differential is 0.03, 0.3 or 3 units. Pb2 default is 0. Pb2 only appears with Ht/CL or CL/Ht operation.



Reset: Enter Reset for Output 1 or 2, adjustable from 0.00 to 9.99 rpts/min. A value of 2.00 rpts/min. corresponds to an integral time constant of 30 seconds. Selecting 0.00 = no integral action. rE2 only appears with Ht/CL or CL/Ht operation. rA X will not appear if Pb X = 0 respectively.



Rate: Adjust Rate function for Output 1 or 2, from 0.00 to 9.99 minutes maximum. Selecting 0.00 = no derivative action. rA2 will only appear with Ht/CL or CL/Ht operation. rA X will not appear if Pb X = 0 respectively.

Cycle Time: Enter the Cycle Time for each Output, adjustable from 1 to 60 seconds. The default will be 5 seconds. Ct1 will not appear if Output 1 is 4-20. CT2 only appears with Ht/CL or CL/Ht operation..

Chapter 5

How to Tune and Operate

Tuning - Automatic

Auto-tuning: The Series 980/985 gives you the capability to automatically tune the PID parameters to fit the characteristics of your particular thermal system.

The auto-tuning procedure operates on a thermal response value — slow, medium, or fast. A slow thermal response is used when the process temperature is not met too rapidly, or greatly exceeds the set point value. A fast thermal response produces a rapid temperature change over a short period of time.

Once the auto-tune sequence has begun, all PID values for both heat and cool are set to 0 and the control goes into an ON/OFF mode of control at 90% of the established set point. The displayed set point remains unchanged.

The cool output remains off for the duration of the tuning. Once the control has finished "learning" the system, it returns to standard PID control with the heat PID values being automatically established as a result of the auto-tuning. The operator must then establish the cool PID values manually. Tuning is complete within 40 minutes. Any change of the set point, while in auto-tune, re-initiates the auto-tune procedure.

NOTE:
Auto-tuning is only possible in the heat mode. The cool output remains off.

To start auto-tuning:

1. **Press the MODE key** until the AUt prompt appears in the data display.
2. **Select a thermal response value**, 1=slow, 2=medium, and 3=fast, using the UP/DOWN keys. A thermal response value of 2 will satisfactorily tune most thermal systems.
3. **Press the MODE key.** While the control is in the tuning mode, the lower display alternately displays the normal information and the prompt At. The time between alternations is 1 second.
4. **When the process is complete**, the displays return to their previous state and AUt reverts to 0. The appropriate PID tuning parameters are now installed, and retained in the non-volatile memory.

To abort auto-tuning, the operator must reset the **AUt** parameter to 0. This leaves the unit in an ON/OFF heat control state in Auto operation at the displayed set point. The auto-tuning process may also be aborted by pressing the AUTO/MANUAL key twice. In both cases, all PID values are set to 0.

Tuning - Manual

For optimum control performance, tune the Series 980/985 to the thermal system. The tuning settings here are meant for a broad spectrum of applications; your system may have somewhat different requirements.

1. **Apply power to the Series 980/985** and enter a set point. Begin with these Operation Parameters: **Pb1** = 1, **rE1** = 0.00, **rA1** = 0.00, **Ct1** = 5, **CAL** = 0, **AUt**= 0.

2. **Proportional Band Adjustment (Output 1):** Gradually increase **Pb1** until the Upper display temperature stabilizes to a constant value. The process temperature will not be right on set point because the initial reset value is 0.00 repeats per minute. (When **Pb1** = 0; **rE1** and **rA1** are inoperative, and the 980/985 functions as a simple ON/OFF control with a 3°F or 1.7°C switching differential.)

3. **Reset Adjustment:** Gradually increase **rE1** until the upper display temperature begins to oscillate or "hunt". Then slowly decrease **rE1** until the Upper display stabilizes again near set point. NOTE: This is a slow procedure, taking from minutes to hours to obtain optimum value.

4. **Cycle Time Adjustment:** Set **Ct1** as required. Optimum system control is sometimes achieved with faster cycle times. However, if a mechanical contactor or solenoid is switching power to the load, a longer cycle time may be desirable to minimize wear on the mechanical components. Experiment until the cycle time is consistent with the quality of control you want.

5. **Rate Adjustment:** Increase **rA1** to 1.00 min. Then raise set point by 20° to 30°F, or 11° to 17°C. Observe the system's approach to set point. If the load temperature overshoots set point, increase **rA1** to 2.00 minutes.

   Then raise set point by 20 to 30°F, or 11 to 17°C and watch the approach to the new set point. If **rA1** is advanced too far, approach to the set point will be very sluggish. Repeat as necessary until the system rises to the new set point without overshooting or approaching the set point too slowly.

6. **Calibration Offset Adjustment:** You may want your system to control to a temperature other than the value coming from the input sensor. If so, measure the difference between that temperature, perhaps at another point in the system, and the process value showing in the Upper display. Then enter the amount of **CAL** offset you want. Calibration offset adds or subtracts degrees from the value of the input signal.

Manual and Automatic Operation

To change from manual to auto operation, press the AUTO/MAN key twice.

Manual operation provides direct (time proportioned % power) control of the outputs from -100% to 100%. A negative output value is allowed only with a Cl (Cool) selection on either Ot1 or Ot2. Automatic operation provides closed loop ON/OFF or PID control. When the operation transfers from a closed loop to an open loop, the 980/985 retains the power level from the closed loop control. When returning to the closed loop control, the previous set point temperature is restored.

INTRODUCTION AU LANGAGE MATLAB

Ce document est une introduction à l'utilisation du logiciel MATLAB, dans le cadre des travaux dirigés d'Automatique, pour lequel la boîte à outils Control System est employée. Il ne présente donc ce logiciel que dans son utilisation en automatique.

Le logiciel MATLAB (MATrix LABoratory) est spécialisé dans le domaine du calcul matriciel numérique. C'est un progiciel de calcul et de visualisation, dont les entités de base sont des tableaux. C'est un langage interprété, qui propose des facilités de programmation et de visualisation, ainsi qu'un grand nombre de fonctions réalisant diverses méthodes numériques. MATLAB est un formidable outil pour l'ingénieur, y compris pour celui traitant des problèmes pratiques. En effet son principal avantage est qu'il est très simple et très rapide à programmer, offrant une grande tolérance (syntaxe simple, pas de définition de types, ...), ce qui permet un gain appréciable en temps de mise au point. L'ingénieur peut par ce moyen être plus efficace dans l'analyse d'un problème, en concentrant ses efforts sur celui-ci et non pas sur l'outil servant à le résoudre. En conséquent, il tend à devenir une référence au niveau mondial, non seulement dans les universités et instituts de recherche, mais aussi dans le milieu industriel.

Procédure à suivre pour lancer MATLAB® :

- démarrer l'ordinateur sous Windows
- se logger sur le réseau sous votre compte habituel,
- cliquer sur l'icône MATLAB, une fenêtre MATLAB apparaît,

L'environnement MATLAB se présente sous la forme d'un espace de travail, où un interpréteur de commandes exécute des opérations et fonctions MATLAB. Les sources de la plupart de celles-ci sont disponibles, écrites en « langage » MATLAB. L'utilisateur peut à sa guise les modifier, mais en s'en inspirant, il peut surtout créer et rajouter ses propres fonctions. Dans un premier temps, on se contentera d'introduire ses commandes au niveau de l'espace de travail où elles sont interprétées directement. Cependant, par la suite, il sera beaucoup plus pratique d'écrire une séquence de commandes complète au moyen d'un éditeur, puis de sauver le tout dans un fichier avec l'extension « .m ». Cette séquence pourra alors être exécutée dans MATLAB par simple introduction du nom du fichier.

Variables, opérateurs et fonctions

Les noms de variables vérifient les trois principes suivants :

- ils comportent au maximum 31 caractères alphanumériques (a, ..., z, 0, ..., 9, '_'),
- le premier caractère est obligatoirement une lettre,
- MATLAB fait la différence entre majuscules et minuscules.

Il est inutile de :

- typer les variables
- dimensionner les variables

avant de leur affecter une valeur. MATLAB le fait automatiquement.

`» x=14;`	⇒ définition d'une variable x contenant la valeur 14

Le caractère « ; » en fin de commande évite l'affichage du résultat, que ce soit au niveau du prompt ou dans un programme écrit en langage MATLAB.

Il est possible de réaliser des opérations arithmétiques sur les tableaux de dimensions compatibles. Les principaux opérateurs sont. Les opérateurs de base sont classiques :

+	Addition
-	Soustraction
*	Multiplication
/	Division
^	Puissance

Des fonctions spéciales permettent de disposer de constantes fondamentales :

pi	3.1415926535897...
i ou j	Nombre imaginaire pur $i^2 = j^2 = -1$

Les tableaux numériques sont constitués d'éléments séparés par des blancs, des virgules ou des points virgules. Il est possible, de construire ces tableaux terme à terme ou de façon automatique pour des tableaux régulièrement espacés de la manière suivante :

SYNTAXE	**a = début :pas :fin ;**

Exemple de tableaux :

```
» t1=0:1:10
t1 =
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
```

⇒ t1 est un tableau contenant sur 1 ligne les 11 valeurs : 0, 1, 2, ..., 10.
On notera l'absence du « ; » pour visualiser le résultat.

```
» t2=[0:1:5 ;6:1:11]
t2 =
0 1 2 3 4 5
6 7 8 9 10 11
```

⇒ t2 est un tableau contenant sur 2 lignes les 12 valeurs : 0, 1, 2, ..., 11.

Il est possible de réaliser des opérations arithmétiques terme à terme sur les tableaux de mêmes dimensions. Les principaux opérateurs sont :

+	Addition
-	Soustraction
.*	Multiplication terme à terme
./	Division terme à terme
.^	Puissance terme à terme

Le noyau de MATLAB est composé de fonctions. Chaque fonction porte un nom et possède des paramètres d'entrée entre parenthèses () et/ou de sortie entre crochets []. La syntaxe d'appel d'une fonction est la suivante :

SYNTAXE	**[x1,x2,...] = nom_fonction(a1,a2,...)** - **nom_fonction :** nom de la fonction - **a1, a2, ... :** paramètres d'entrées de la fonction - **x1, x2, ... :** paramètres de sorties de la fonction

Exemple de fonction :

```
» [y]=sin([0 pi/4 pi/2])
y =
0 0.707 1
```

⇒ utilisation de la fonction `sin`.
Cette fonction à un paramètre d'entrée et un paramètre de sortie.

La commande suivante est indispensable et doit être utilisée pour connaître l'usage et la procédure d'appel d'une fonction :

help nom_fonction	Aide en ligne de la fonction « `nom_fonction` ».

Visualisation

MATLAB permet de tracer facilement le graphe de fonctions. Cela se fait à l'aide de la fonction `plot`. Par défaut MATLAB crée un système d'axes adéquats. La syntaxe générale de la commande `plot` est la suivante :

SYNTAXE	**plot(x,y,s)** **x :** tableau des abscisses, **y :** tableau des ordonnées, **s :** chaîne de caractère facultative définissant : - la couleur, - le style du tracé

Les principaux utilitaires pour effectuer un graphique sont :

figure	Création d'une nouvelle figure
subplot	Création de plusieurs systèmes d'axes
grid	la commande `grid on` active l'affichage d'une grille et la commande `grid off` désactive l'affichage d'une grille
hold	la commande `hold on` active la superposition de tracés et la commande `hold off` désactive la superposition de tracés
close	Fermeture de figures

Nous disposons aussi de fonctions permettant de faire des annotations :

title	Titre du graphique
xlabel **ylabel**	Libellé de l'axe des abscisses… et de l'axe des ordonnés
text	Commentaires à une position spécifique

Exemples de visualisation :

```
» t=0:1:10;
» y=sin(t);
» plot(t,y,'c*')        ⇒ les points sont représentés par des étoiles de couleurs cyan

» grid on
» title('Sinus')        ⇒ affichage d'une grille
» xlabel('t')           ⇒ titre
» ylabel('sin(t)')      ⇒ libellé sur l'axe des abscisses
                        ⇒ libellé sur l'axe des ordonnés
```

Un tracé peut être superposé à un autre en utilisant la commande `hold`.

```
» t=0:1:10;
» y=sin(t);
» plot(t,y,'r')       ⇒ affichage de l'ordonnée y en fonction de l'abscisse t en rouge

» hold on             ⇒ fonction de superposition activée
» plot(y,t,'g')       ⇒ affichage de l'ordonnée t en fonction de l'abscisse y en vert
» hold off
                      ⇒ fonction de superposition désactivée
```

La commande `subplot` permet de mettre plusieurs systèmes d'axes sur une même figure.

SYNTAXE	**subplot(Nblignes,Nbcolonnes,Indice)**

Par exemple la commande `subplot(3,2,4)` sépare la figure en 3 lignes et 2 colonnes et crée le quatrième système d'axes.
Exemple d'utilisation de la commande `subplot`.

```
» t=0:1:10;
```

`» y1=sin(t);`
`» y2=cos(t);`
`» subplot(2,1,1)`
`» plot(t,y1)`
`» subplot(2,1,2)`
`» plot(t,y2)`
	⇒ un système d'axes est crée dans la moitié supérieure
	⇒ affichage du sinus
	⇒ un système d'axes est crée dans la moitié inférieure
	⇒ affichage du cosinus

La commande `zoom` active un zoom interactif sur un graphique.

SYNTAXE	**zoom**
	- la commande `zoom on` active le zoom et la commande `zoom off` désactive le zoom. - bouton gauche de la souris : sélectionner une zone ou cliquer une fois sur un point pour agrandir avec un rapport de 2. - bouton droit de la souris : cliquer une fois pour réduire avec un rapport de 2, double-cliquer pour annuler tout agrandissement.

LE LANGAGE MATLAB ET LA RESOLUTION DE PROBLEMES EN AUTOMATIQUE

Dans le cadre de l'automatique, MATLAB constitue avant tout un très puissant outil d'analyse des systèmes dynamiques linéaires, dont on peut très facilement obtenir les propriétés, comme les pôles et zéros (`roots`) ou le gain statique (`dcgain`) et tracer les réponses de tous types, la réponse impulsionnellè (`impulse`), indicielle (`step`), à un signal quelconque (`lsim`), ou harmonique (`bode`, `nichols`, `nyquist`). Différentes commandes permettent de construire et d'analyser des systèmes linéaires de structure complexe, formés de multiples blocs connectés tantôt en série (`series`), parallèle (`parallel`) ou en contre-réaction (`feedback`).

Ecriture d'une fonction de transfert :
L'introduction d'une fonction de transfert s'effectue en deux temps, les polynômes du numérateur et du dénominateur devant être donnés séparément. Le principe est simple : les polynômes du numérateur et du dénominateur apparaissent sous forme de tableaux, les composantes desquels étant les coefficients des monômes selon les puissances décroissantes de 'p'.

Soit par exemple la fonction de transfert : $G(p)=3\frac{1+2p}{12p^2+2p+1}$

Son introduction dans MATLAB se fait par les commandes :

`» numG=3*[2 1];` `» denG=[12 2 1];`	⇒ définition du numérateur de $G(p)$ ⇒ définition du dénominateur de $G(p)$

Attention : tous les coefficients sont écrits qu'ils soient nuls ou non : $G(p)=3\frac{1}{p^2+2p}$

Son introduction dans MATLAB se fait par les commandes :

`» numG=3;` `» denG=[1 2 0];`	⇒ définition du numérateur de $G(p)$ ⇒ définition du dénominateur de $G(p)$

Remarque : Les noms donnés aux numérateurs et dénominateurs sont libres. On aura toutefois intérêt à être organisé et rigoureux dans les notations employées.